

• Idun Kistinnah • Endang Sri Lestari



# BIOLOGI

Makhluk Hidup dan Lingkungannya

SMA/MA



PUSAT PERBUKUAN  
Departemen Pendidikan Nasional

Untuk Kelas

**XII**

SMA/MA  
untuk Kelas XII

**BIOLOGI**  
Makhluk Hidup dan Lingkungannya

• Idun Kistinnah  
• Endang Sri Lestari

**Idun Kistinnah  
Endang Sri Lestari**

# **BIOLOGI 3**

**Makhluk Hidup dan Lingkungannya**

---

**Untuk SMA/MA Kelas XII**



**PUSAT PERBUKUAN**  
Departemen Pendidikan Nasional

# BIOLOGI 3

## Makhluk Hidup dan Lingkungannya Untuk SMA/MA Kelas XII

**Idun Kistinnah**  
**Endang Sri Lestari**

---

Editor Materi : Santi Ariandi  
Editor Bahasa : Sri Iswanti Mutmainah  
Tata Letak : Rina, Banu Tri Nugroho, Tedjo Kusumo  
Design Cover : Marwanto  
Adopted by: Encarta 2006  
Ilustrator : Bayu, Haryana, Cahyo, Hary

---

574.07

Idu Idun Kistinnah

b Biologi 3 : Makhluk Hidup dan Lingkungannya Untuk SMA/MA  
Kelas XII / Idun Kistinnah, Endang Sri Lestari ; Editor Santi Ariandi,  
Sri Iswanti Mutmainah ; Ilustrator Bayu, Haryana, Cahyo, Hary. —  
Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.  
viii, 306hlm. : illus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 295

Indeks

ISBN 978-979-068-129-3 (no jld lengkap)

ISBN 978-979-068-134-7

1. Biologi-Studi dan Pengajaran 2. Lestari, Endang Sri  
3. Ariandi, Santi 4. Mutmainah, Sri Iswanti 5. Bayu 6. Haryana  
7. Cahyo 8. Hary 9. Judul

---

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan  
Nasional dari CV Putra Nugraha

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ....

# KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Februari 2009

Kepala Pusat Perbukuan



# KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena akhirnya kami bisa menyelesaikan penulisan buku Biologi SMA dan MA ini. Bagi Anda pelajar SMA dan MA, buku ini akan membimbing Anda dalam mempelajari konsep Biologi secara mudah dan menyenangkan.

Buku ini kami sajikan dengan pendekatan *konstruktivisme, inquiry, questioning, learning community, modeling, reflection*, dan *evaluasi komprehensif*. Dengan pendekatan ini, diharapkan Anda akan terlibat aktif dalam mengenal, menganalisis, dan menyimpulkan konsep Biologi.

Tujuan pembelajaran Biologi adalah mengembangkan daya nalar untuk memecahkan konsep-konsep Biologi dikaitkan dengan fakta-fakta yang ada di lingkungan sekitar. Untuk mencapai tujuan itu kami uraikan materi yang disertai **Tugas**, baik individu maupun kelompok, **Kegiatan Kelompok**, baik eksperimen dan noneksperimen. Sebagai evaluasi untuk mengukur daya serap Anda terhadap materi, kami sajikan **Latihan dan Ulangan Blok** untuk melatih kemampuan kognitif dan **Uji Kompetensi** yang memuat tiga aspek evaluasi, yaitu kognitif, psikomotorik, dan afektif.

Dengan pola buku seperti yang kami sajikan tersebut, kami berharap semoga buku ini bermanfaat, baik bagi siswa maupun guru dalam proses belajar mengajar Biologi di tingkat SMA dan MA.

Penulis

## PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU

Untuk menggunakan buku ini sebagai panduan belajar, perhatikan petunjuk-petunjuk berikut!

1. Pelajari dan pahami teori-teori dan konsep-konsep Biologi dalam uraian materi dengan menggunakan *metode inquiry* dan pola masyarakat belajar yang dikembangkan dalam buku ini.
2. Untuk mengembangkan kemampuan psikomotorik, lakukan **Kegiatan Kelompok** melalui kegiatan eksperimen, baik di dalam laboratorium maupun di luar laboratorium.
3. Kerjakan **Tugas Individu** dan **Tugas Kelompok** untuk mengembangkan kemampuan personal maupun sosial.
4. Soal-soal **Latihan** dapat digunakan untuk melatih kemampuan kognitif dari materi yang ada dalam setiap bab.
5. Kerjakan soal-soal yang ada dalam **Uji Kompetensi** yang mencakup tiga ranah evaluasi, yaitu kognitif, psikomotor, dan afektif.

### A PENGERTIAN PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TUMBUHAN

Sebelum mengetahui yang dimaksud dengan pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan, terlebih dahulu lakukan Kegiatan Kelompok 1 berikut!

#### KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan :** Mengetahui pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan.

1. Lakukan pengamatan pada 3 tanamancabai atau tanaman lain yang sama jenisnya di sekitar lingkungan rumah atau tempat

#### TUGAS INDIVIDU

Setelah Anda memahami tentang proses katabolisme dan anabolisme, buatlah bagan rangkuman proses respirasi fotosintesis agar bisa memahami konsep tersebut lebih jelas. Presentasikan hasilnya di depan kelas!

#### TUGAS KELOMPOK

Manusia Indonesia sangat beragam, ada yang berkulit hitam misalnya orang-orang suku Dani dan ada yang berkulit putih misalnya suku

#### LATIHAN

##### 1. Pilihlah jawaban yang benar!

1. Proses perkembangan zigot dimulai dari sel induk yang membelah secara meiosis yang menghasilkan 4 sel haploid, yaitu ....
  - a. 1 sel besar dan 3 sel kecil yang melarut/melebur dalam sel besar
  - b. 2 sel besar dan 2 sel kecil yang melarut/melebur dalam sel

#### UJI KOMPETENSI

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Amatilah keadaan rumput di lapangan yang terlindung pohon besar dan rindang! Rumput yang tumbuh di bawah pohon rindang dapat tumbuh lebih cepat dibandingkan rumput sejenis yang tumbuh di tengah lapangan dan tidak terlindungi oleh pohon. Mengapa hal itu bisa terjadi? Berilah alasan yang tepat!
2. a. Mengapa hormon auksin sangat berpengaruh sekali terhadap pertumbuhan suatu tanaman? Jelaskan!

# DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
<b>BAB 1 PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN</b>	
<b>PADA TUMBUHAN .....</b>	<b>1</b>
A. Pengertian Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan .....	3
B. Pengaruh Faktor Luar (Eksternal) terhadap Pertumbuhan Tumbuhan .....	5
C. Pengaruh Faktor Dalam (Internal) terhadap Pertumbuhan Tumbuhan .....	10
D. Terjadinya Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan .....	14
UJI KOMPETENSI .....	32
<b>BAB 2 METABOLISME .....</b>	<b>33</b>
A. Metabolisme .....	36
B. Komponen-Komponen yang Berperan dalam Metabolisme .....	39
C. Katabolisme .....	45
D. Anabolisme .....	52
E. Hubungan antara Metabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein .....	58
F. Teknologi yang Berkaitan dengan Metabolisme Makanan .....	60
UJI KOMPETENSI .....	66
<b>BAB 3 MATERI GENETIKA .....</b>	<b>67</b>
A. Kromosom .....	69
B. Gen .....	74
C. Alel dan Alel Ganda .....	77
D. DNA .....	79
E. RNA .....	85
F. Sintesis Protein .....	87
G. Kode Genetik .....	90
UJI KOMPETENSI .....	98
<b>BAB 4 PEMBELAHAN SEL .....</b>	<b>99</b>
A. Pembelahan Mitosis .....	101
B. Pembelahan Meiosis .....	106
C. Gametogenesis .....	112
D. Keterkaitan antara Pembelahan Mitosis dan Meiosis	

dengan Pewarisan Sifat .....	117
UJI KOMPETENSI .....	122
<b>BAB 5 PEWARISAN SIFAT .....</b>	<b>123</b>
A. Pola-Pola Hereditas .....	125
B. Penyimpangan Semu Hukum Mendel .....	138
C. Hereditas Pada Manusia .....	151
D. Manfaat Genetika .....	161
UJI KOMPETENSI .....	166
<b>BAB 6 MUTASI .....</b>	<b>167</b>
A. Pengertian Mutasi .....	169
B. Macam-Macam Mutasi .....	188
C. Mutagen .....	192
UJI KOMPETENSI .....	200
<b>ULANGAN BLOK 1 .....</b>	<b>201</b>
<b>BAB 7 EVOLUSI .....</b>	<b>203</b>
A. Teori Evolusi .....	205
B. Macam-Macam Evolusi .....	211
C. Mekanisme Evolusi .....	212
D. Spesiasi .....	221
E. Sejarah Evolusi Manusia .....	223
F. Petunjuk Adanya Evolusi .....	227
G. Teori Asal-Usul Kehidupan .....	233
H. Teori Kecenderungan Evolusi .....	238
UJI KOMPETENSI .....	248
<b>BAB 8 BIOTEKNOLOGI .....</b>	<b>249</b>
A. Pengertian Bioteknologi .....	251
B. Bioteknologi Tradisional (Konvensional) .....	253
C. Bioteknologi Modern .....	255
D. Bioteknologi dengan Menggunakan Mikroorganisme .....	256
E. Bioteknologi dengan Menggunakan Rekayasa Genetika .....	268
F. Bioteknologi dengan Menggunakan Jaringan Tumbuhan .....	274
G. Bioteknologi Pertanian .....	279
H. Dampak Bioteknologi bagi Kehidupan .....	283
UJI KOMPETENSI .....	288
<b>ULANGAN BLOK 2 .....</b>	<b>289</b>
<b>KUNCI JAWABAN .....</b>	<b>293</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>295</b>
<b>DAFTAR GAMBAR DAN TABEL .....</b>	<b>296</b>
<b>GLOSARIUM .....</b>	<b>299</b>
<b>INDEKS SUBJEK DAN PENGARANG .....</b>	<b>303</b>





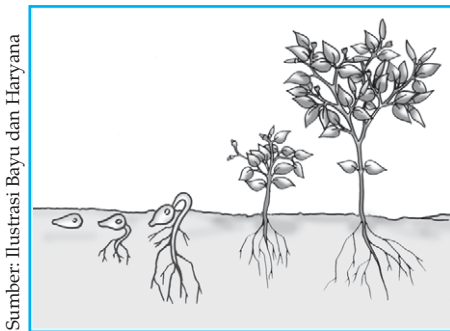
# BAB 1

## PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN PADA TUMBUHAN

### Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang perkembangan dan pertumbuhan pada tumbuhan. Dengan mempelajari materi ini diharapkan Anda mampu mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh dan proses yang terjadi pada pertumbuhan serta perkembangan tumbuhan melalui kegiatan percobaan. Selain itu, diharapkan pula Anda mampu mengkomunikasikan hasil percobaan tersebut.

Di negara kita terdapat jenis-jenis tumbuhan yang beraneka ragam. Keadaan seperti iklim dan tanah sangat mendukung kelangsungan hidup beraneka tumbuhan tersebut. Oleh sebab itu kita wajib mensyukuri anugerah Tuhan ini.



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

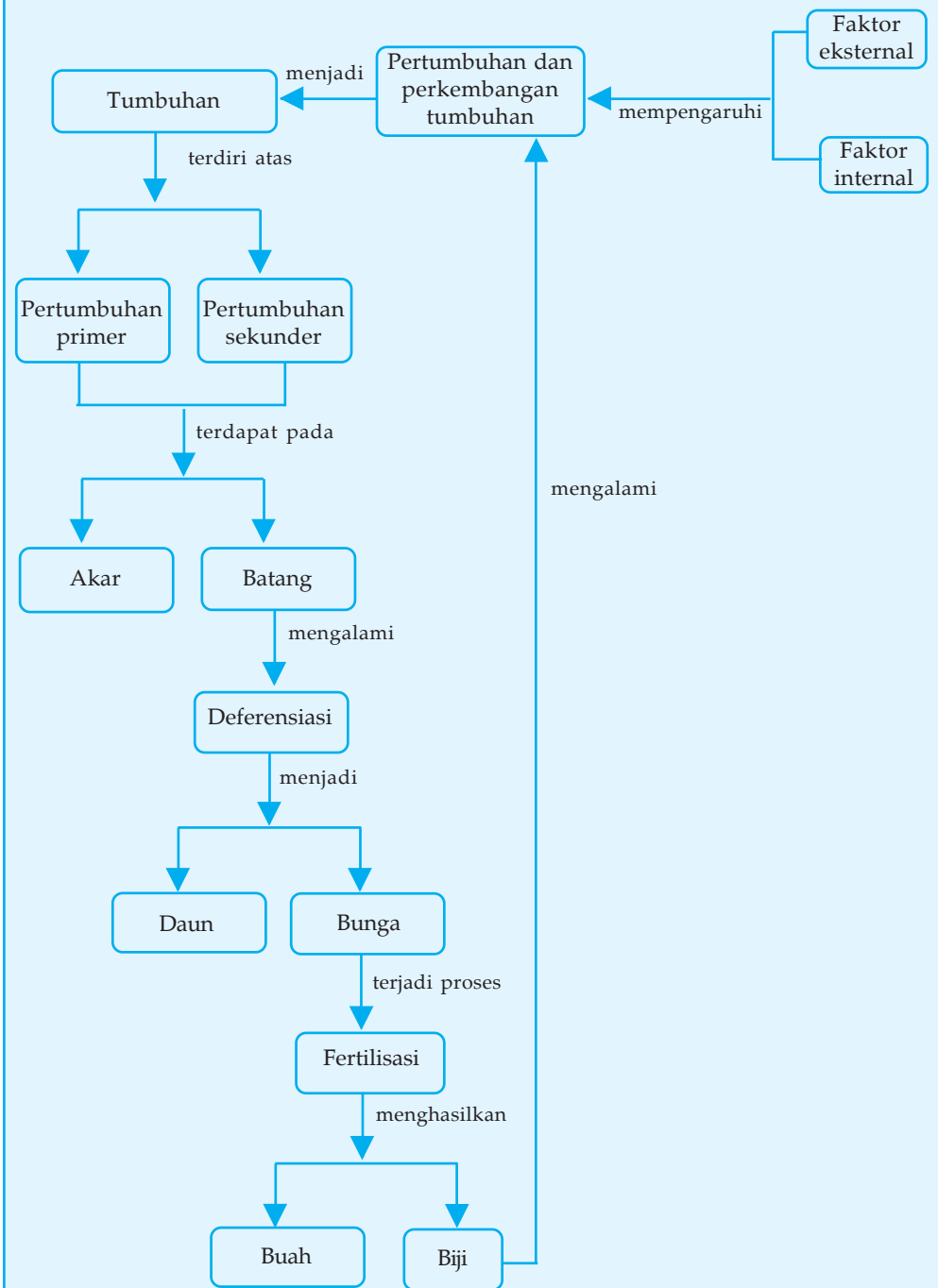
Gambar 1.1 Pertumbuhan dan perkembangan tanaman cabai.

### Kata Kunci

- pertumbuhan
- perkembangan
- jaringan meristematik
- pertumbuhan primer
- pertumbuhan sekunder
- daerah pembelahan
- daerah pemanjangan
- daerah diferensiasi
- kambium
- hormon
- hipogeal
- kotiledon
- periode ekspanen
- radikula
- koleoptil
- hipokotil

Perhatikan Gambar 1.1, lalu ingat kembali tentang ciri-ciri makhluk hidup! Gambar tersebut memperlihatkan salah satu ciri makhluk hidup, yaitu tanaman cabai yang tumbuh dan berkembang. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman cabai dimulai dari biji hingga menjadi dewasa yang akan menghasilkan biji kembali.

## PETA KONSEP



Pernahkah Anda berpikir mengapa tumbuhan dapat tumbuh dan berkembang mulai dari kecil menjadi besar sampai terbentuk bunga, buah, dan biji? Faktor-faktor apakah yang menyebabkan tumbuhan itu dapat menjadi besar dan dewasa? Apa yang dimaksud dengan pertumbuhan dan perkembangan? Samakah pertumbuhan dan perkembangan dari semua jenis makhluk hidup? Agar lebih jelas, pelajari pada uraian berikut!

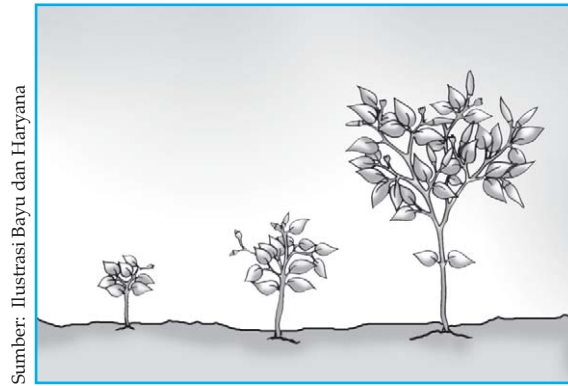
## **A** PENGERTIAN PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TUMBUHAN

Sebelum mengetahui yang dimaksud dengan pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan, terlebih dahulu lakukan Kegiatan Kelompok 1 berikut!

### **KEGIATAN KELOMPOK 1**

**Tujuan :** Mengetahui pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan.

1. Lakukan pengamatan pada 3 tanaman cabai atau tanaman lain yang sama jenisnya di sekitar lingkungan rumah atau tempat tinggal Anda.
  - a. Tanaman cabai 1 mempunyai ukuran paling kecil
  - b. Tanaman cabai 2 mempunyai ukuran lebih besar daripada tanaman cabai 1
  - c. Tanaman cabai 3 mempunyai ukuran lebih besar dari tanaman cabai 2
2. Ukurlah tinggi masing-masing pohon itu.
3. Mengapa tiga tanaman cabai itu memiliki ketinggian yang berbeda? Apakah ketinggian dari tiga tanaman tersebut disebabkan adanya pertumbuhan atau perkembangan? Diskusikan dengan teman Anda!
4. Tuliskan hasil pengamatan Anda pada buku tugas, dan buatlah kesimpulan!
5. Bandingkanlah hasil Anda dengan kelompok lain!
6. Konsultasikan hasilnya dengan guru Biologi Anda!



Gambar 1.2 Contoh perbedaan ketinggian pada tanaman

Dari hasil kegiatan 1 tanaman cabai mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang dimulai dari kecil hingga menjadi dewasa. Sepintas jika dilihat antara proses pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada tanaman cabai adalah sama, tetapi sebenarnya mempunyai perbedaan. Tahukan Anda, di mana letak perbedaan antara pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada tumbuhan itu?

Pertumbuhan pada tanaman cabai merupakan proses bertambahnya ukuran dari kecil hingga sampai dewasa yang sifatnya *kuantitatif*, artinya dapat kita ukur yang dapat dinyatakan dengan suatu bilangan, misalnya pada seperti Gambar 1.2 yaitu tanaman cabai umur 1 minggu tingginya 5 cm, setelah tumbuh berumur 2 minggu tingginya menjadi 10 cm, setelah mencapai umur 3 minggu tingginya menjadi 15 cm, dan seterusnya. Selain tumbuh, tanaman cabai juga mengalami perkembangan yang ditandai dengan tanaman menjadi dewasa yaitu dapat menghasilkan biji kembali. Adapun perkembangan merupakan suatu proses untuk menuju/mencapai kedewasaan pada makhluk hidup yang bersifat *kualitatif*, artinya tidak dapat dinyatakan dengan suatu bilangan, misalnya sudah seberapa dewasakah suatu makhluk hidup itu? Hal tersebut tidak bisa diukur atau dinyatakan dengan suatu bilangan. Untuk mengetahuinya, lakukan Kegiatan Kelompok 2 berikut!

## KEGIATAN KELOMPOK 2

1. Cobalah amati macam tumbuh-tumbuhan, misalnya jamur dan tanaman cabai!
2. Amati perbedaan pertumbuhan dan perkembangan dari keduanya, lalu catatlah hasilnya!
3. Diskusikan hasil pengamatan itu bersama kelompok Anda!

Jamur seperti diamati pada Kegiatan Kelompok 2 dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya ditandai dengan bertambahnya ukuran atau volume pada tubuhnya dan terbentuknya spora. Pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan bersel banyak seperti tumbuhan berbiji, misalnya tanaman cabai selain bertambah ukurannya juga ditandai dengan terbentuknya bunga yang mempunyai alat kelamin betina atau putik (*pistillum*) dan alat kelamin jantan atau benang sari (*stamen*).

Dengan demikian, dapat dijelaskan bahwa pertumbuhan adalah suatu proses pertumbuhan ukuran dan volume serta jumlah sel secara *irreversibel*, yaitu tidak dapat kembali ke bentuk semula. Adapun perkembangan merupakan proses menuju kedewasaan, dan proses ini bersifat kualitatif yang berarti tidak dapat dinyatakan dalam suatu bilangan seperti pada contoh di depan.

## **B PENGARUH FAKTOR LUAR (EKSTERNAL) TERHADAP PERTUMBUHAN TUMBUHAN**

Pernahkah Anda berpikir, mengapa petani-petani melakukan pengolahan tanah, merawat tanaman dengan pemupukan, pengairan, mencabuti tanaman gulma dan penyemprotan hama/penyakit? Kegiatan tersebut dilakukan agar tanaman itu dapat tumbuh dengan subur, sehingga dapat memberikan hasil yang optimal. Perlu Anda ketahui bahwa suatu tanaman dalam proses pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor luar (eksternal). Faktor-faktor eksternal atau lingkungan yang berpengaruh sebagai berikut.

1. Iklim seperti cahaya, temperatur udara, air, angin, matahari dan gas.
2. Tanah meliputi tekstur dan struktur tanah, bahan organik, ketersediaan nutrien, dan pH.
3. Biologis, seperti gulma, serangga, mikroorganisme penyebab penyakit, nematoda macam-macam tipe herbivora, mikroorganisme tanah seperti bakteri pemfiksasi  $N_2$  dan bakteri denitrifikasi serta mikorhiza.

Agar lebih jelas cobalah membuat percobaan dengan menentukan beberapa variabel (faktor yang berpengaruh dalam pertumbuhan). Tentukan rumusan permasalahan dari beberapa variabel terikat (faktor yang pasti berpengaruh), coba ingat kembali pelajaran kelas X. Rumusan permasalahan dijadikan menjadi rancangan percobaan, perhatikan Tabel 1.1 di bawah ini!



**Tabel 1.1 Variabel Terikat dalam Pertumbuhan**

No.	Biji tanaman	Media tumbuh	Cahaya dan suhu	Air dan kelembaban
1.	Kedelai	Tanah	Terang dan gelap	10 ml per hari
2.	Kacang hijau	Tanah	Terang dan gelap	10 ml per hari
3.	Kacang tanah	Tanah	Terang dan gelap	10 ml per hari
...	...	...	...	...

Selain variabel terikat (cahaya, suhu, air, dan kelembaban), Anda masih dapat memilih variabel bebas yang dapat dipilih sebagai salah satu tujuan rancangan percobaan!

**Tabel 1.2 Variabel Bebas dalam Pertumbuhan**

Media Tumbuh	Cahaya	Suhu	Air	Kelembaban
Kapas	Cahaya langsung	Tinggi	Jumlah air	Tinggi
Tanah gembur	Cahaya dalam ruangan	Sedang	Jenis air	Sedang
Tanah liat	Gelap	Rendah	Konsentrasi air	Rendah
...	...	...	...	...

Setelah selesai menentukan variabel-variabelnya, kemudian tentukan tujuan dalam percobaan yang akan dilakukan. Siapkanlah alat dan bahan untuk percobaan tumbuhan. Sebaiknya perlakuan dan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman harus dilakukan setiap hari.

*Contoh variabel terikat.*

1. Pertumbuhan panjang tumbuhan setiap hari
2. Warna daun, batang, dan ukuran akar.
3. Pertambahan berat tumbuhan.

*Contoh variabel bebas.*

1. Cahaya (langsung/dalam ruangan/gelap)
2. Konsentrasi air (0 ml/hari, 2 ml/hari, 4 ml/hari, 6 ml/hari, 8 ml/hari, 10 ml/hari)

Apabila semua alat-alat dan bahan sudah siap, percobaan dapat segera dilaksanakan. Kemudian isi hasil pengamatan yang Anda lakukan setiap hari, seperti pada tabel 1.3 berikut ini.

**Tabel 1.3 Pengamatan Pertumbuhan**

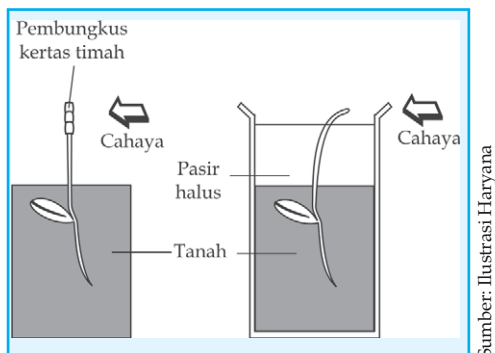
No.	Waktu	Keadaan daun	Keadaan Batang	Keadaan Akar
1.	Hari ke-1	...	...	...
2.	Hari ke-2	...	...	...
3.	Hari ke-3	...	...	...
...	....	...	...	...

Dari data yang Anda peroleh, buatlah grafik pertumbuhan tanaman bisa berupa grafik batang/grafik garis. Jika pengamatan yang Anda lakukan sudah selesai, data yang terkumpul dianalisis. Untuk mendukung percobaan tersebut carilah sumber-sumber lain yang mendukung.

Faktor eksternal adalah faktor-faktor yang berasal dari luar tubuh tumbuhan yang mempengaruhi pertumbuhannya. Faktor-faktor luar tersebut adalah sebagai berikut.

## 1. Cahaya/Sinar Matahari

Perhatikan Gambar 1.3 berikut! Dari Gambar 1.3 terlihat cahaya atau sinar matahari sangat diperlukan tumbuhan hijau untuk kelangsungan hidupnya, sebab sinar matahari merupakan sumber energi yang digunakan untuk proses berlangsungnya fotosintesis di dalam daun-daun tumbuhan hijau. Dari proses fotosintesis akan dihasilkan zat makanan yang sangat berpengaruh terhadap pembelahan sel pada pertumbuhan tanaman.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 1.3 Pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan

Tetapi pada kenyataannya, mengapa pertumbuhan tanaman yang cukup sinar matahari lebih lambat jika dibandingkan dengan tanaman yang kekurangan sinar matahari?

Kecambah yang tumbuh dari biji dan diletakkan di tempat tidak ada sinar matahari (gelap) ternyata akan tumbuh lebih cepat, memiliki daun kecil dan tipis berwarna kekuning-kuningan, batangnya lemah, dan akarnya tidak banyak, sedangkan kecambah yang tumbuh dari biji dan diletakkan di tempat ada sinar matahari akan tumbuh lebih lambat, memiliki daun yang tumbuh di antara kotiledon, cepat menghijau dan tebal, batangnya kuat, dan akarnya banyak. Hal ini terjadi karena pada daun yang tidak

mendapat sinar matahari akan mengandung air lebih banyak sedangkan zat gulanya lebih sedikit. Akibatnya jumlah jaringan mesofil meningkat sehingga daun yang terbentuk menjadi lebih lebar dan tipis. Adapun pada daun yang mendapat sinar matahari akan mengandung sedikit air dan jumlah gulanya banyak, akibatnya akan cepat mengadakan respirasi dan fotosintesis, sehingga daunnya menjadi lebih tebal menghihau, jaringan palisadanya berlapis-lapis, lapisan kutikula menebal sehingga terbentuk daun yang lebih tebal dan sempit, berwarna hijau.

Perlu Anda ketahui setiap tumbuhan mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap periode penyinaran cahaya matahari, yang disebut *fotoperiodisme*. Di daerah yang beriklim sedang akan mengalami empat musim sehingga tumbuh-tumbuhan akan mengalami penyinaran yang bervariasi setiap musim.

Berdasarkan respon tumbuhan terhadap periode penyinaran inilah, tumbuhan dapat dikelompokkan menjadi: tumbuhan berhari pendek, tumbuhan berhari netral, dan tumbuhan berhari panjang. Bagaimana dengan negara Indonesia? Coba Anda pikirkan!

a. Tumbuhan berhari pendek

Tumbuhan berhari pendek merupakan tumbuhan yang dapat berbunga ketika periode gelap lebih panjang dari pada pencahayaan.

Misalnya bunga dahlia, aster, strawberi, krisan.

b. Tumbuhan berhari netral

Tumbuhan berhari netral merupakan tumbuhan berbunga yang tidak dipengaruhi oleh lamanya/panjangnya hari penyinaran. Misalnya bunga matahari, mawar, dan kipas.

c. Tumbuhan berhari panjang

Tumbuhan berhari panjang merupakan tumbuhan yang berbunga ketika periode pencahayaan lebih lama/panjang daripada periode gelap. Misalnya bayam, selada, kentang, dan gandum.

## 2. Suhu (Temperatur)

Setiap proses pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan selalu dipengaruhi oleh suhu lingkungannya. Agar pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan optimal, maka diperlukan adanya suhu ideal yang disebut temperatur optimum. Di Indonesia pada daerah tropis temperatur optimum tumbuhan berkisar antara 22° - 37° C, di daerah dingin atau kutub temperatur optimumnya akan lebih rendah daripada daerah tropis dan sebaliknya di daerah panas seperti hutan pasir akan lebih tinggi dari daerah tropis.

Contohnya pertumbuhan jagung berkisar antara 30°C–35°C. Jika tumbuhan masih mampu melakukan pertumbuhan dan perkembangan pada temperatur rendah disebut temperatur minimum, sebaliknya jika tumbuhan masih mampu tumbuh dan berkembang pada temperatur tertinggi disebut temperatur maksimum. Apabila tumbuhan berada lebih rendah dari temperatur minimum atau lebih tinggi dari temperatur maksimum, maka tumbuhan tersebut akan mati.

Coba Anda beri contoh tumbuhan yang cocok hidup di temperatur minimum dan maksimum! Carilah sumber informasi yang mendukung masalah-masalah ini!

### 3. Kelembapan Udara

Kelembapan udara di sekitar tempat tumbuhan sangat berpengaruh terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman tersebut. Umumnya tanah dan udara sekitar yang kurang lembab (airnya cukup) akan sangat baik atau cocok bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, karena pada kondisi seperti itu tanaman menyerap banyak air dan penguapan (*transpirasi*) air semakin menurun, sehingga memungkinkan cepat terjadinya pembelahan dan pemanjangan sel-sel untuk mencapai ukuran maksimum. Tetapi ada jenis tumbuhan pada proses pertumbuhan dan perkembangannya secara optimal justru berada pada kondisi tidak lembab atau kering, contohnya pohon mangga yang akan bertunas dan bersemi, bahkan berbuah pada saat musim kemarau yang kurang air.

### 4. Air dan Unsur Hara Tanah

Air mutlak diperlukan tumbuhan, karena di dalam hidupnya tak mungkin tumbuhan dapat tumbuh dan berkembang tanpa memerlukan air. Apa fungsi air bagi tumbuhan? Fungsi air bagi tumbuhan adalah sebagai berikut.

- Fotosintesis
- Mengedarkan hasil-hasil fotosintesis ke seluruh bagian tumbuhan.
- Sebagai pelarut inti sel dalam proses pertumbuhan dan perkembangan.
- Menentukan proses transportasi unsur hara yang ada di dalam tanah.
- Berperan dalam proses metabolisme sel.

Jika tumbuhan kekurangan unsur hara maka pertumbuhan dan perkembangannya akan mengalami gangguan atau hambatan.

Unsur-unsur hara (nutrisi) dalam jumlah banyak yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan disebut unsur makro, misalnya karbon, oksigen, nitrogen, hidrogen, sulfur, fosfor, kalsium, dan magnesium. Adapun nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit disebut unsur mikro, misalnya besi, klor, mangan, boron, seng, tembaga, dan nikel.

Jika di dalam tanah terdapat sedikit unsur hara seperti kekurangan nitrogen, maka pertumbuhan akar akan lebih cepat atau lebih besar, sedangkan pertumbuhan tajuknya menjadi terhambat atau kecil. Sebaliknya jika di dalam tanah kaya nitrogen maka pertumbuhan tajuk akan lebih cepat daripada pertumbuhan akarnya. Dengan demikian terdapat hubungan erat antara pertumbuhan akar dan tajuk tanaman. Akar berfungsi untuk menyerap air tanah dan tajuk berfungsi untuk melakukan sintesis senyawa organik (makanan).

## 5. Derajat Keasaman/pH

Derajat keasaman atau pH tanah sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan suatu tanaman. Contohnya tanah yang bersifat asam terhadap tanah padsolik merah kuning (PMK), agar tanaman dapat tumbuh dengan baik maka jenis tanah ini ditambahkan keasaman dengan pengapuran.

### C

## PENGARUH FAKTOR DALAM (INTERNAL) TERHADAP PERTUMBUHAN TUMBUHAN

Faktor internal adalah faktor yang berasal dari dalam tubuh tumbuhan, terdiri atas faktor intrasel dan faktor intersel.

### 1. Faktor Intrasel

Sifat dari induk tumbuhan, baik bentuk dan ukuran tubuhnya akan menurun pada anaknya, sifat menurun tersebut disebut *hereditas*. Sifat menurun merupakan gen yang terdapat pada setiap kromosom di dalam inti sel jaringan penyusun organ tubuh tumbuhan.

### 2. Faktor Intersel

Faktor intersel yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan adalah hormon. Istilah hormon pertama kali dikemukakan oleh seorang ahli botani dari Belanda bernama **Friedrich Agust Ferdinand Went** (1863– 1935). **Went** berpendapat bahwa hormon tumbuh merupakan zat yang penting dalam pertumbuhan tanaman. Hormon tumbuh tersebut juga disebut zat tumbuh yang komponennya terdiri atas senyawa protein dengan substansi kimia yang aktif. Zat tumbuh ini banyak jenisnya, antara lain auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, gas etilen, asam traumalin, dan kalin.



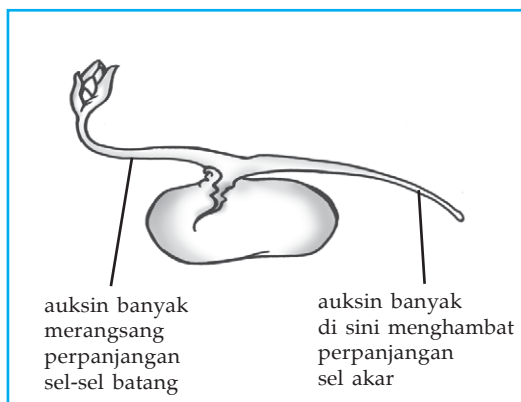
Mengapa berbagai jenis hormon tumbuh sangat penting di dalam proses pertumbuhan tanaman? Untuk mengetahui pentingnya berbagai jenis hormon tumbuh pada tanaman, pelajari satu per satu pada uraian berikut.

### a. Auksin

Hormon auksin pertama kali ditemukan oleh **Went** yang terdapat pada ujung koleoptil kecambah gandum (*Avena sativa*). Pada penelitian Went lebih lanjut, ternyata diketahui hormon auksin juga ditemukan pada ujung koleoptil kecambah tanaman yang lain.

Hormon auksin merupakan senyawa kimia *Indol Asetic Acid* (IAA) dihasilkan dari sekresi pada titik tumbuh yang terletak pada ujung tunas (terdiri atas batang dan daun), ujung akar, daun muda, bunga, buah, dan kambium. Jika hormon auksin berada di ujung tunas, maka akan diangkut oleh jaringan berkas pembuluh (xilem dan floem) menuju ke tunas untuk tumbuh dan pemanjangan sel-sel jaringan batangnya.

Pada bagian manakah hormon auksin diproduksi? Hormon auksin diproduksi di bagian koleoptil ujung tunas lalu diangkut oleh jaringan pembuluh angkut menuju tunas, selanjutnya tunas akan tumbuh menjadi tunas bagian akar, batang, dan daun. Pada tunas batang, auksin akan berkumpul di bawah permukaan batang yang menyebabkan sel-sel jaringan di bawah permukaan batang tersebut akan tumbuh lebih cepat dari sel-sel jaringan di atas permukaan batang. Mengapa demikian? Karena sifat hormon auksin sangat peka terhadap panas/sinar. Auksin akan rusak dan berubah menjadi suatu zat yang justru akan menghambat terjadinya pembelahan sel-sel pada daerah pemanjangan batang, sehingga pertumbuhan sel-sel batang yang terkena sinar matahari akan menjadi lebih lambat dibandingkan dengan sel-sel jaringan pada sisi batang yang tidak terkena sinar matahari.



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Hormon auksin selain berfungsi merangsang perpanjangan sel-sel batang dan menghambat perpanjangan sel-sel akar, juga berfungsi merangsang pertumbuhan akar samping (*lateral*) dan akar serabut yang berfungsi sebagai penyerapan air dan mineral, mempercepat aktivitas pembelahan sel-sel titik tumbuh kambium akar dan batang, menyebab-

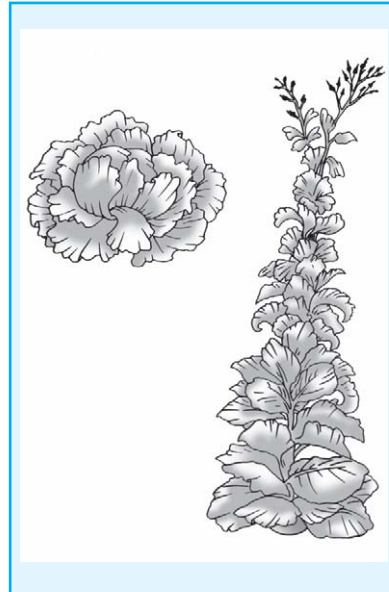
Gambar 1.4 Pertumbuhan ujung akar dan ujung batang.

kan terjadinya diferensiasi sel menjadi jaringan berkas angkut xilem, dan merangsang terjadinya pembentukan bunga dan buah. Agar lebih jelas lihat Gambar 1.4

### b. Giberelin

Hormon giberelin secara alami terdapat pada bagian tertentu tumbuhan yaitu pada buah dan biji saat berkecambah. Giberelin pertama kali ditemukan pada tumbuhan sejenis jamur *Giberella fujikuroi* (*Fusarium moniliformae*) oleh **F.Kurusawa**, seorang berkebangsaan Jepang.

*Giberelin* adalah zat tumbuh yang sifatnya sama atau menyerupai hormon auksin, tetapi fungsi giberelin sedikit berbeda dengan auksin. Fungsi giberelin adalah membantu pembentukan tunas/embrio, menghambat perkecambahan dan pembentukan biji. Hal ini terjadi apabila giberelin diberikan pada bunga maka buah yang terbentuk menjadi buah tanpa biji dan sangat nyata mempengaruhi pemanjangan dan pembelahan sel. Hal itu dapat dibuktikan pada tumbuhan kerdil, jika diberi giberelin akan tumbuh normal, jika pada tumbuhan normal diberi giberelin akan tumbuh lebih cepat. Pengaruh giberelin pada tanaman dapat Anda lihat pada Gambar 1.5.



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 1.5 Pengaruh giberelin terhadap pertumbuhan tanaman

### c. Sitokinin

Ada dua jenis hormon sitokinin, yaitu *zeatin* (merupakan sitokinin alami yang terdapat pada biji jagung) dan *kinetin* yang merupakan sitokinin buatan. Fungsi sitokinin adalah untuk merangsang pembelahan sel, memperkecil dominasi apikal, mengatur pembentukan bunga dan buah, membantu pembentukan akar, tunas, menunda pengguguran daun, dan menghambat proses penuaan. Efek dari sitokinin berlawanan dengan auksin pada tumbuhan. Contoh jika sitokinin banyak diberikan pada tumbuhan maka akan banyak tumbuh tunas, tetapi jika sedikit diberikan pada tumbuhan maka akan terbentuk banyak akar. Hal ini terjadi karena sitokinin dapat menghentikan dominasi pertumbuhan kuncup atas (*apikal*) dan merangsang pertumbuhan kuncup samping (*lateral*).

#### d. Asam Absisat

Asam absisat merupakan hormon yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (*inhibitor*) yaitu bekerja berlawanan dengan hormon auksin dan giberelin dengan jalan mengurangi atau memperlambat kecepatan pembelahan dan pembesaran sel. Asam absisat akan aktif pada saat tumbuhan berada pada kondisi yang kurang baik, seperti pada musim dingin, musim kering, dan musim gugur.

Mengapa asam absisat justru berperan pada saat tanaman berada dalam kondisi yang kurang baik? Pada saat tumbuhan mengalami kondisi yang kurang baik, misalnya ketika kekurangan air di musim kering, maka tumbuhan tersebut mengalami *dormansi* yaitu daun-daunnya akan digugurkan dan yang tertinggal adalah tunas-tunasnya. Dalam keadaan demikian asam absisat terkumpul/terakumulasi pada tunas yang terletak pada sel penutup stomata, hal ini menyebabkan stomata menutup, sehingga penguapan air berkurang dan keseimbangan air di dalam tubuh tumbuhan terpelihara sehingga pertumbuhan tunasnya terhambat yang disebabkan melambatnya kecepatan pembelahan dan pembesaran sel-sel tunasnya.

Fungsi asam absisat yaitu dapat mengurangi kecepatan pertumbuhan dan pemanjangan sel pada daerah titik tumbuh, macam pengguguran daun dan mendorong dormansi biji agar tidak berkecambah.

#### e. Gas Etilen

Gas etilen adalah suatu gas yang dihasilkan oleh buah yang sudah tua sehingga buah menjadi matang. Jika buah tua yang masih berwarna hijau disimpan dalam tempat tertutup dan dibiarkan beberapa hari, akhirnya menjadi matang dan berwarna kuning sampai merah. Dalam hal ini terjadi perubahan warna dari hijau menjadi kuning sampai merah pada buah karena keluarnya gas etilen dari buah tersebut.

Salah satu cara mencegah terjadinya pembusukan atau kerusakan pada saat pemeraman buah adalah pada saat buah tua dipetik/dipanen masih berwarna hijau, kemudian dikemas atau disimpan pada tempat yang berventilasi untuk mencegah buah tidak cepat masak/matang, sehingga sesampainya di tempat tujuan buah tersebut baru matang dan tidak rusak atau busuk.

Fungsi etilen adalah menyebabkan buah menjadi masak, menyebabkan pertumbuhan batang menjadi kokoh dan tebal, dapat memacu pembungaan, yang bekerja bersamaan dengan auksin dan bersama giberelin dapat mengatur perbandingan bunga betina dan jantan pada tumbuhan berumah satu.

#### f. Asam Traumalin

Asam traumalin disebut sebagai hormon luka/kambium karena hormon ini berperan apabila tumbuhan mengalami kerusakan jaringan. Jika terluka, tumbuhan akan merangsang sel-sel di daerah luka menjadi bersifat meristem lagi sehingga mampu mengadakan pembelahan sel untuk menutup luka tersebut.

Perlu Anda ketahui selain hormon, vitamin dapat berpengaruh dalam pertumbuhan dan perkembangan, misalnya vitamin B12, vitamin B1, Vitamin B6, vitamin C (asam askorbat). Vitamin-vitamin tersebut berfungsi dalam proses pembentukan hormon dan berfungsi sebagai koenzim.

#### g. Kalin

Tahukah Anda kalin merupakan hormon yang berfungsi untuk memacu pertumbuhan organ tumbuhan, di antaranya:

- 1) *rhizokalin*, dapat memacu pertumbuhan akar;
- 2) *kaulokalin*, dapat memacu pertumbuhan batang;
- 3) *fitokalin*, dapat memacu pertumbuhan daun;
- 4) *anthokalin*, dapat memacu pertumbuhan bunga.

## D TERJADINYA PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TUMBUHAN

Anda sudah mengetahui bahwa pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dipengaruhi oleh faktor-faktor, baik faktor luar (eksternal) atau dalam (internal). Pada proses pertumbuhan dan perkembangannya, tumbuhan mengalami periode lamban yaitu dengan ciri adanya sedikit pertumbuhan atau tidak ada pertumbuhan yang sebenarnya. Periode ini terjadi pada saat tumbuhan sedang mempersiapkan diri untuk tumbuh, misalnya sebutir biji yang sedang menyerap air untuk persiapan perkecambahan.

Periode lamban ini akan diikuti dengan periode *eksponen (logaritma)*. Pada periode ini dimulailah suatu pertumbuhan yang pada awalnya lambat tetapi kemudian semakin cepat. Fase ini tidak akan terjadi terus menerus. Dalam beberapa waktu pertumbuhannya akan menurun dan segera memasuki periode perlambatan. Pertumbuhannya akan berlangsung lebih lambat dan akhirnya akan berhenti sama sekali, misalnya terjadi pada pohon yang tumbuh terus menerus sampai suatu ketika terkena suatu penyakit dan akhirnya akan mati. Apakah manusia juga mengalami periode seperti ini? Pikirkan!

Pertumbuhan pada tumbuhan dapat dibedakan menjadi dua yaitu pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder. Ingatlah kembali pelajaran IPA di SMP atau MTs! Apa yang dimaksud dengan pertumbuhan tersebut? Untuk mengetahuinya pelajari materi berikut dengan baik!

## 1. Pertumbuhan Primer

Apa yang dimaksud dengan pertumbuhan primer? Terbentuknya bunga, dimulai dari alat kelamin betina atau putik yang mengandung sel telur (ovarium) lalu dibuahi oleh alat kelamin jantan atau benang sari yang mengandung sel sperma dan akhirnya membentuk lembaga atau zigot. Sel induk lembaga atau zigot ini mengalami proses perkembangan yang ditandai dengan adanya periode perlambatan pertumbuhan atau tidak ada sama sekali pertumbuhan, sehingga bentuk zigot tidak mengalami perubahan atau tidak mengalami penambahan ukuran panjang.

Proses perkembangan zigot dimulai dari sel induk yang membelah secara meiosis menghasilkan empat sel haploid, artinya satu sel besar dan tiga sel kecil yang melebur/melarut ke dalam sel besar. Selanjutnya sel haploid itu menyusun atau mengumpulkan energi dari zat-zat makanan untuk melakukan pembelahan berikutnya secara mitosis.

Pembelahan mitosis sebenarnya adalah awal dimulainya proses pertumbuhan embrionik yang ditandai dengan adanya periode percepatan pertumbuhan akibat terjadinya pembelahan sel bertahap secara cepat dan terus menerus menghasilkan dua sel, empat sel, delapan sel, enam belas sel, dan seterusnya, sehingga terjadi penambahan/pemanjangan ukuran selnya. Selanjutnya membentuk kumpulan/kelompok yang tumbuh menjadi embrio atau jaringan meristem atau jaringan embrional, kemudian jaringan meristem ini tumbuh dan berkembang menjadi embrio yang tersimpan dan terlindungi di dalam biji, kemudian tumbuh menjadi kecambah hingga mencapai dewasa.

Pertumbuhan pada embrio atau jaringan meristem dari hasil pembelahan sel-sel jaringan meristem primer ini disebut dengan *pertumbuhan primer*. Pertumbuhan primer ini terjadi pada embrio, ujung akar, dan ujung batang, mari kita pelajari bersama satu per satu agar lebih jelas!

### a. Pertumbuhan pada Embrio

Proses pertumbuhan dan perkembangan embrio pada tumbuhan sering disebut sebagai perkecambahan. Perkecambahan merupakan permulaan atau awal pertumbuhan embrio di dalam biji. Biji yang berkecambah dapat membentuk planula karena di dalamnya mengandung embrio. Embrio atau lembaga mempunyai tiga bagian, yaitu radikula (akar lembaga), kotiledon (daun lembaga), dan kaulikulus (batang lembaga).



Lihat dan amatilah Gambar 1.6 berikut ini!



Sumber: Biologi Jilid 2, Kimball, 1999

Gambar 1.6 Perkecambahan biji buncis

Agar lebih jelas, lakukan Kegiatan Kelompok 3 berikut!

### KEGIATAN KELOMPOK 3

**Tujuan :** Mengetahui bentuk perkecambahan pada tanaman

**Alat dan Bahan :**

- |                |                    |
|----------------|--------------------|
| 1. Biji kacang | 3. Pisau           |
| 2. Biji jagung | 4. Kertas dan pena |

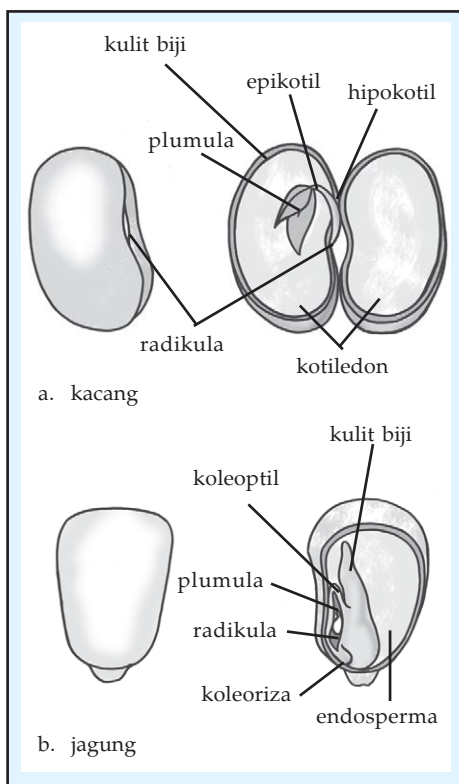
**Cara Kerja :**

1. Persiapkan biji kacang dan biji jagung.
2. Kemudian belahlah dengan pisau atau cutter tepat di antara kedua keping bijinya.
3. Amati dan gambarlah, lalu sebutkan bagian-bagian dari biji kacang dan jagung, bila perlu carilah buku yang mendukung tentang bagian-bagian biji.
4. Bandingkanlah antara biji kacang dengan biji jagung.
5. Buatlah suatu kesimpulan dan diskusikan dengan kelompok Anda.
6. Konsultasikan hasil yang Anda peroleh dengan guru Biologi Anda. Kemudian presentasikan di depan kelas!

Di dalam biji ada beberapa bagian-bagian, yaitu *plumula*, *epikotil*, *hipokotil*, *radikula* dan *kotiledon*. Di dalam kegiatan yang Anda lakukan akan menemukan calon individu baru (embrio) yang dilengkapi dengan cadangan makanan.

Lihatlah Gambar 1.7 dan bandingkan dengan hasil pengamatan Anda!

- 1) Pada biji kacang (tumbuhan dikotil) yang disebut embrio adalah kuncup embrionik yang memanjang dan melekat pada kotiledon, pada biji ini terdapat dua kotiledon. Bagian bawah pangkal (aksis) yang melekat pada kotiledon dinamakan *hipokotil* dan bagian ujungnya (terminal) disebut *radikula*. Bagian atas pangkal adalah *epikotil*, dan bagian ujungnya adalah *plumula* yang terlihat sepasang daun dengan pucuknya.
- 2) Pada biji jagung (tumbuhan monokotil) hanya terdapat satu kotiledon yang sering dinamakan dengan *skutelum*. Pada saat terjadinya proses perkecambahan, akar akan diselubungi oleh *koleoriza* dan pada ujung embrio diselubungi oleh *koleoptil*.

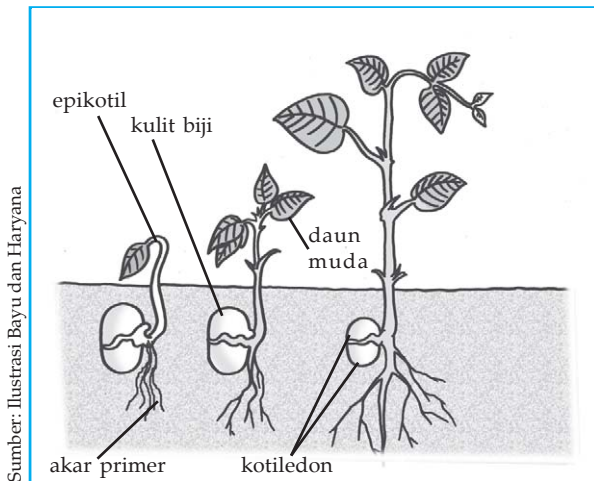


Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 1.7 Bagian-bagian biji pada jagung dan kacang

Seperti yang Anda amati pada Kegiatan Kelompok 3, di dalam biji terdapat tumbuhan kecil, ini merupakan hasil perkecambahan. Dua macam jenis perkecambahan biji dapat dibedakan atas perkecambahan hipogeal dan epigeal. Lihatlah pada Gambar 1.8 dan 1.9, lalu amati dan pelajarilah!

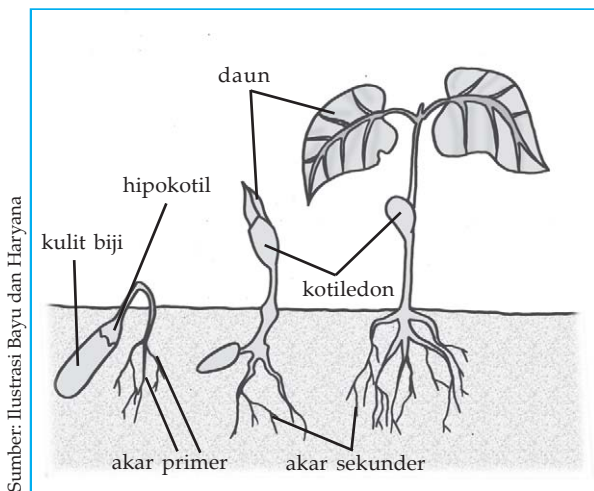
## 1) Perkecambahan Hipogeal



Gambar 1.8 Perkecambahan hipogeal.

Gambar 1.8 memperlihatkan terjadinya pertumbuhan memanjang dari epikotil sehingga menyebabkan plumula keluar dan menembus pada kulit bijinya yang nantinya akan muncul di atas tanah, sedangkan kotiledonnya masih tetap berada di dalam tanah. Contoh perkecambahan ini terjadi pada kacang kapri.

## 2) Perkecambahan Epigeal



Gambar 1.9 Perkecambahan epigeal

Tampak pada Gambar 1.9 hipokotil tumbuh memanjang yang mengakibatkan kotiledon dan plumula sampai keluar ke permukaan tanah, sehingga kotiledon terdapat di atas tanah. Contoh perkecambahan ini terjadi pada kacang tanah, kacang hijau. Apa perbedaan dari kedua perkecambahan itu?

Coba Anda pikirkan! Agar lebih jelas, Anda bisa melakukan Kegiatan Kelompok 4 berikut ini!

## KEGIATAN KELOMPOK 4

**Tujuan** : Mengetahui perbedaan perkecambahan hipogeal dan epigeal

**Alat dan Bahan** :

1. Biji kacang hijau
2. Biji kacang kapri
3. 2 Buah cawan petri
4. Kapas
5. Air

**Cara Kerja :**

1. Persiapkan terlebih dahulu kacang kapri dan kacang tanah.
2. Basahilah kapas dengan air secukupnya, jangan terlalu kering, kemudian masukkan kapas tersebut ke dalam cawan petri atau tempat yang Anda sediakan masing-masing.
3. Masukkan masing-masing biji tersebut dalam tempat yang Anda sediakan, satu biji dimasukkan dalam satu cawan petri.
4. Amatilah pertumbuhan biji tersebut beberapa hari, adakah perbedaan perkecambahan dari kedua biji tersebut?
5. Bandingkan hasil pengamatan Anda dengan Gambar 1.8 dan 1.9!

Dari hasil Kegiatan Kelompok 4 tersebut Anda akan mengetahui pertumbuhan embrio. Embrio tersebut belum dapat membuat makanan sendiri. Mengapa demikian dan bagaimana cara embrio mendapatkan makanannya?

Untuk mencukupi kebutuhan pertumbuhannya, embrio memperoleh makanan yang berasal dari cadangan makanan di dalam keping biji (kotiledon). Berdasarkan jumlah kotiledonnya tumbuhan berbiji dapat digolongkan menjadi dua macam, yaitu tumbuhan yang memiliki satu keping biji (kotiledon) disebut tumbuhan *monokotil* (bijinya tidak berbelah dan berakar serabut), contohnya biji jagung dan kelapa, sedangkan tumbuhan yang memiliki dua keping biji (kotiledon) disebut tumbuhan *dikotil* (bijinya berbelah dan berakar tunggang), contohnya biji kacang dan mangga.

Ada tiga macam bagian penyusun embrio yang penting pada proses perkecambahan, yaitu sebagai berikut.

- 1) Tunas embrionik, sebagai calon batang dan daun yang dapat tumbuh dan berkembang menjadi bunga dan buah.
- 2) Akar embrionik, sebagai calon akar yang dapat tumbuh dan berkembang menjadi akar.
- 3) Kotiledon atau keping biji, merupakan cadangan makanan untuk pertumbuhan embrio hingga mencapai terbentuknya daun, karena embrio tersebut belum menghasilkan makanan sendiri melalui fotosintesis.

Apabila biji-biji tersebut berada di lingkungan yang cocok, maka embrio-nya akan segera tumbuh yang ditandai dengan perkecambahan. Saat biji mulai berkecambah, sebenarnya adalah awal pertumbuhan pasca embrionik yang dimulai dari pembelahan sel terus menerus secara cepat merupakan periode percepatan pertumbuhan jaringan meristem embrio. Dari proses ini dibagikan sel-sel jaringan baru dengan bentuk, susunan, dan fungsi berbeda, kemudian tumbuh menjadi berbagai organ jaringan seperti tunas embrionik, akar embrionik, dan kotiledon yang selanjutnya membentuk organ tumbuhan.

Pada awalnya, organ yang terbentuk adalah akar, batang, daun. Setelah pertumbuhan mencapai tanaman muda, maka pertumbuhan selanjutnya yaitu dari pertumbuhan tanaman muda menjadi dewasa. Proses pertumbuhannya digantikan oleh aktivitas jaringan meristem primer pada titik tumbuh yang terletak di ujung akar maupun di ujung batang, yang memungkinkan pertumbuhan tanaman menjadi bertambah tinggi atau panjang yang disebut pertumbuhan primer.

## **b. Pertumbuhan pada Ujung Akar**

Setelah proses perkecambahan, akan terbentuk tanaman muda dan pertumbuhan selanjutnya akan ditentukan oleh aktivitas dari jaringan meristem yang terdapat pada titik tumbuh. Jaringan meristem primer ini terdapat pada ujung akar dan ujung batang yang sangat memungkinkan bertambah tinggi atau panjangnya tanaman.

Di bagian manakah pada akar dan batang yang memiliki pertumbuhan paling cepat? Agar lebih jelas mengetahui hal itu, lakukan Kegiatan Kelompok 5 berikut!

## KEGIATAN KELOMPOK 5

**Tujuan** : Mengetahui pertumbuhan yang paling cepat pada akar dan batang.

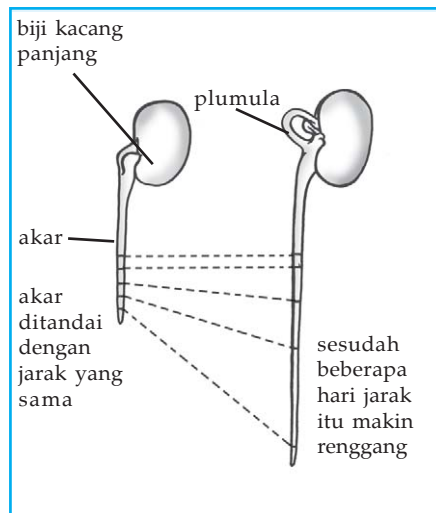
**Alat dan Bahan** :

1. Biji kacang hijau yang tua
2. Biji kacang panjang yang tua
3. Air secukupnya
4. Cawan petri atau piring 2 buah
5. Tinta atau spidol

**Cara Kerja** :

1. Rendamlah biji kacang hijau dan biji kacang panjang di dalam cawan atau piring selama 30 menit.
2. Kemudian buanglah air rendaman dan diamkan beberapa hari sampai masing-masing biji tersebut tumbuh berkecambah.
3. Pada masing-masing akar kecambah digaris/ditandai tinta atau spidol dengan skala (mm) ukuran yang sama sebanyak 5 tanda.
4. Kemudian biarkan tumbuh beberapa hari di dalam cawan atau piring.
5. Amati tanda di masing-masing akar dan bandingkanlah di antara kedua macam akar tersebut. Buatlah kesimpulan dari pengamatan Anda lalu diskusikan dengan kelompok Anda!

Dari Kegiatan Kelompok 5 terlihat, pada masing-masing bagian ujung akar yang digaris atau ditandai dengan skala (mm) ukuran sama, setelah beberapa hari ditumbuhkan dan berkecambah ternyata jarak antara garis atau tanda tinta satu dengan yang lainnya makin berjauhan. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian akar kecambah kacang hijau dan kacang panjang mengalami pertumbuhan yaitu bertambah panjang atau tinggi. Kecepatan pertumbuhan dari berbagai bagian akar ternyata tidak sama.



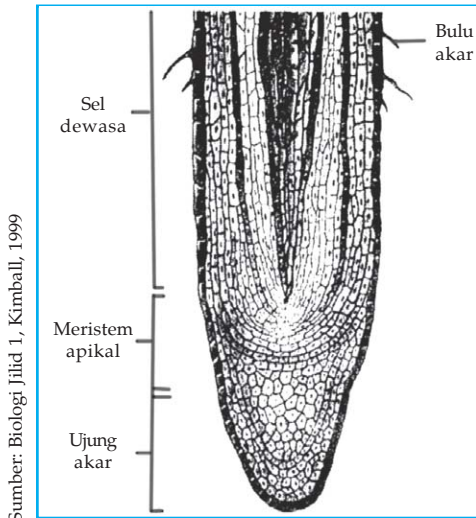
Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 1.10 Kecepatan pertumbuhan pada berbagai bagian akar

Bagian yang paling cepat tumbuh terletak pada daerah bagian belakang ujung akar, karena pada bagian ujung akar tersebut terdapat tiga macam daerah titik tumbuh yaitu daerah pembelahan, daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi. Semakin jauh dari ujung akar maka pertumbuhannya akan semakin lambat, seperti tampak pada Gambar 1.10.

### ✓ Perlu Diketahui

Kaliptra pada tumbuhan Monokotil mempunyai titik tumbuh tersendiri yang disebut *kaliptrogen*, sedangkan pada tumbuhan dikotil tidak tampak memilikinya karena batas antara kaliptra dan ujung akarnya belum jelas.



Gambar 1.11 Sayatan memanjang ujung akar

Pada Gambar 1.11 terlihat terdapat daerah pembelahan sel, daerah ini terdapat di bagian ujung. Sel-sel pada daerah ini aktif membelah dan sifatnya tetap meristematik. Di belakang daerah pembelahan merupakan daerah yang tiap selnya memiliki aktivitas untuk membesar dan memanjang, daerah ini dinamakan daerah pemanjangan sel.

Setelah sel-selnya membelah dan memanjang maka sel-selnya akan terdiferensiasi menjadi sel-sel yang memiliki struktur dan fungsi yang khusus. Daerah ini disebut sebagai daerah diferensiasi. Kemudian sel-sel di belakang titik tumbuh akan membentangi dan terdiferensiasi menjadi jaringan-jaringan akar, yaitu epidermis, korteks, endodermis, dan silinder pusat.

### c. Pertumbuhan pada Ujung Batang

Sama seperti halnya akar, pada ujung batang juga terdapat titik tumbuh. Titik tumbuh pada batang dilindungi oleh balutan bakal daunnya. Pertumbuhan dan perkembangan sama dengan yang terjadi pada akar, yaitu terdapat daerah pembelahan (meristematik), daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi.

Gambar 1.12 memperlihatkan pada daerah meristematik terdapat titik tumbuh (meristem apikal) dan bakal daun. Pada bagian atas daun tumbuh lebih lambat dibandingkan dengan permukaan bawah daun, sehingga daun yang muda akan melengkung di atas titik tumbuh.



Pada daerah pemanjangan, sel-selnya akan tumbuh membesar dan memanjang serta jaringan pembuluh sudah mulai tampak. Pada daerah diferensiasi akan membentuk beberapa jaringan yaitu epidermis, korteks, dan silinder pusat.

Setelah pertumbuhan tanaman muda hingga mencapai tanaman dewasa, proses pertumbuhan tanaman tersebut melambat atau disebut periode perlambatan yang ditandai dengan pertumbuhannya menjadi lambat atau bahkan sama sekali tidak terjadi pertumbuhan. Pada periode tersebut, sebenarnya tumbuhan itu sedang memasuki masa perkembangan menuju tanaman dewasa yang ditandai dengan tidak adanya penambahan panjang atau ukurannya, tetapi sedang berkembang menuju pada kedewasaannya.

Ciri-ciri suatu tumbuhan dikatakan sudah dewasa yaitu ditandai dengan terbentuknya bunga. Pada bunga inilah terdapat alat kelamin betina berupa putik maupun alat kelamin jantan berupa benang sari yang berfungsi sebagai alat perkembangbiakan suatu tumbuhan. Setelah terjadi persarian (penyerbukan), putik oleh benang sari akan dihasilkan buah berbiji dan biji inilah yang nantinya akan tumbuh menjadi tanaman baru.

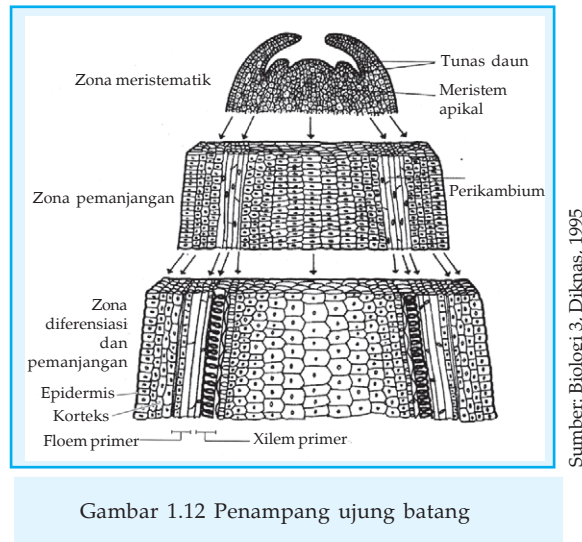
Beberapa teori tentang titik tumbuh adalah sebagai berikut.

### 1) Teori Histogen dari Hanstein

Teori Histogen menyatakan bahwa titik tumbuh batang seakan-akan dapat dibedakan menjadi tiga lapisan yang membentuk jaringan/histogen seperti terlihat pada tabel 1.4 berikut.

**Tabel 1.4 Lapisan pada Jaringan Histogen**

No.	Nama Jaringan	Keterangan
1.	<i>Dermatogen</i>	Lapisan luar biasanya setebal satu sel dan akan membentuk epidermis.
2.	<i>Periblem</i>	Lapisan tengah setebal beberapa lapisan sel dan dianggap membentuk korteks
3.	<i>Plerom</i>	Lapisan dalam dianggap pembentuk silinder pusat





## 2) Teori Tunika dan Korpus dari Schmidt

Teori Tunika menyatakan bahwa titik tumbuh hanya dapat dibedakan menjadi dua bagian saja.

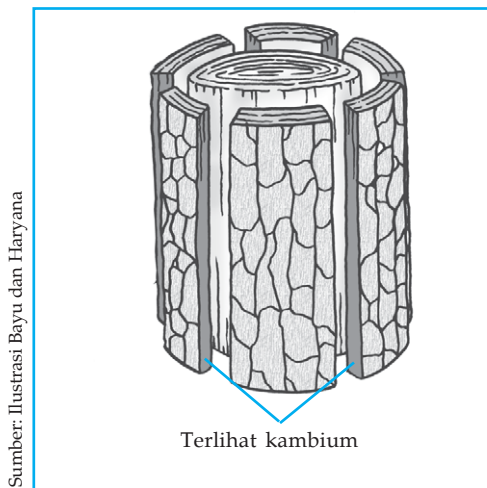
- Tunika*, yaitu lapisan pinggir, terdiri atas sel-sel yang membelah mengakibatkan bertambah luasnya permukaan titik tumbuh.
- Korpus*, adalah bagian yang terdapat di sebelah dalam tunika, terdiri atas sel-sel yang membelah ke segala arah.

## 2. Pertumbuhan Sekunder

Setelah mengalami pertumbuhan primer, tumbuhan akan mengalami pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan sekunder hanya terjadi pada tumbuhan dikotil dan *Gymnospermae*. Agar lebih jelas dengan pertumbuhan sekunder, lakukan Kegiatan Kelompok 6 berikut!

### KEGIATAN KELOMPOK 6

- Carilah batang pohon jati yang sudah digergaji.
- Amati batang tersebut secara melintang, lihat bagian-bagian yang ada pada batang tersebut!
- Mengapa terdapat lingkaran-lingkaran pada batang itu?  
Diskusikan dengan kelompok Anda!



Gambar 1.13 Daerah pertumbuhan sekunder

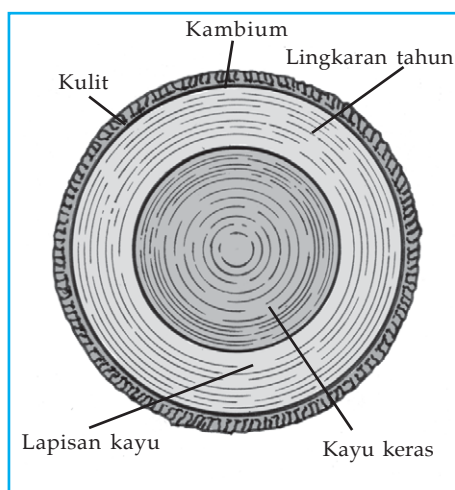
Pada tumbuhan dikotil, selain terdapat jaringan meristem primer juga terdapat jaringan meristem sekunder. Pertumbuhan sekunder terjadi pada jaringan meristem sekunder berupa kambium gabus atau gabus. Fungsi kambium gabus adalah sebagai perlindungan pada pertumbuhan sekunder yaitu pertumbuhan organ tumbuhan menjadi bertambah besar ukurannya. Contoh tumbuhan yang melakukan pertumbuhan sekunder adalah pohon jati yang banyak terdapat di daerah Blora, Cepu, Jawa Tengah, seperti tampak pada Gambar 1.13.

Pada awal pertumbuhan, kambium hanya terdapat pada jaringan ikat pembuluh (*vasis*) yang disebut kambium *intravaskuler* atau kambium *vasis*, kambium ini dapat tumbuh dengan arah yang berlawanan, yaitu yang tumbuh ke arah luar akan menjadi xilem dan yang tumbuh ke arah dalam akan membentuk floem. Selanjutnya pada pertumbuhan sel jaringan parenkim yang berada di antara kambium intravaskuler akan tumbuh dan berubah menjadi kambium baru yang disebut kambium *intervaskuler*.

Di dalam perkembangannya, kambium *intervaskuler* akan tersambung dengan kambium *intravaskuler* yang membentuk suatu lingkaran konsentris, bentuk lingkaran konsentris pada tumbuhan dikotil sering disebut dengan *lingkaran tahun*. Contoh batang tumbuhan dikotil yang mempunyai lingkaran tahun adalah pohon jati. Perhatikan bentuknya pada Gambar 1.14!

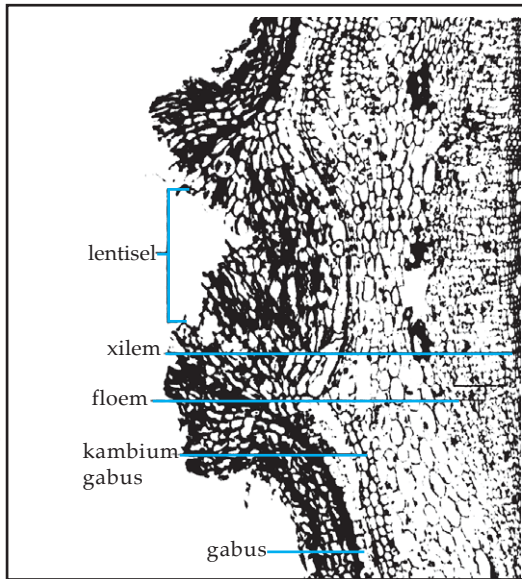
Bagaimanakah proses terjadinya lingkaran tahun pada tumbuhan dikotil seperti pohon jati? Lingkaran tahun pada pohon jati terjadi sebagai akibat dari pertumbuhan sekunder (kambium gabus) yang berlangsung/berjalan tidak sepanjang tahun. Pertumbuhan sekunder berlangsung hanya pada musim penghujan karena pada musim penghujan kebutuhan air dan unsur hara cukup banyak tersedia untuk pertumbuhan tanaman tersebut, dengan proses pertumbuhan seperti ini akan terbentuk suatu lingkaran yang disebut lingkaran tahun.

Pada umumnya tumbuhan dikotil seperti pohon jati memiliki kulit batang pecah-pecah atau rusak. Mengapa kulit batang tumbuhan dikotil seperti pohon jati tampak pecah-pecah atau rusak? Kulit batang jati mengalami pecah-pecah, karena adanya aktivitas kambium yang membentuk jaringan xilem dan floem lebih cepat dari pertumbuhan kulit, sehingga akan mengakibatkan jaringan kulit paling luar seperti epidermis dan korteks menjadi rusak atau pecah-pecah. Untuk mencegah terjadinya kerusakan kulit terluarnya lebih lanjut, maka jaringan yang berada di sebelah dalam kulit membentuk jaringan pelindung dari kerusakan berupa kambium gabus atau *felogen*. Felogen membentuk jaringan yang tumbuh ke arah dalam disebut *feloderm* yang sel-selnya hidup sedangkan jaringan yang tumbuh ke arah luar disebut *felem* yang sel-selnya mati.



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 1.14 Lingkaran tahun



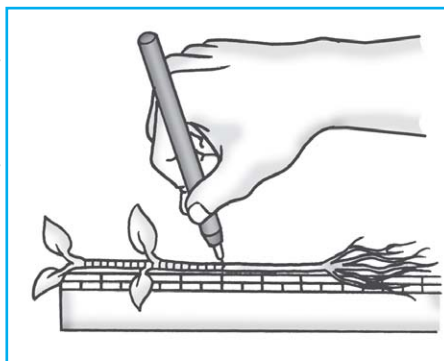
Gambar 1.15 Lentisel potongan melintang batang Sambucus

Sebenarnya apakah fungsi dari felogen itu? Felogen berfungsi sebagai pelindung dari kerusakan sel-sel jaringan bagian dalam yang berada di bawah kulit. Kerusakan dapat terjadi karena banyaknya ruang terbuka yang menyebabkan air dan oksigen keluar masuk secara bebas.

Lapisan felogen tidak semuanya tertutup rapat, tetapi ada beberapa tempat sel kambium gabus di epidermis kulit yang membentuk suatu lubang/celah menyerupai lensa yang disebut dengan lentisel. Bentuk lentisel pada kulit batang terlihat tampak seperti pada Gambar 1.15.

### 3. Alat Pengukur Kecepatan Pertumbuhan Tumbuhan

Sekarang Anda sudah mengetahui yang dimaksud dengan pertumbuhan pada tanaman. Pertumbuhan merupakan pertambahan jumlah volume, panjang, massa, dan bersifat berubah-ubah. Kecepatan pertumbuhan tanaman dapat diukur dengan menggunakan alat-alat sebagai berikut.



Gambar 1.16 Menggunakan mistar untuk mengukur pertumbuhan

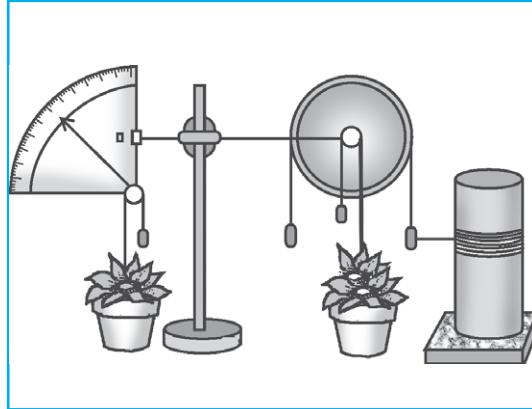
#### a. Mistar

Dengan menggunakan alat ini kita dapat mengetahui kecepatan pertumbuhan. Cara mengukur mula-mula kecambah diberi tanda dengan menggunakan tinta tahan air dengan jarak tertentu. Alat ini juga untuk mengetahui bagian yang mengalami pertambahan panjang paling cepat.

## b. Auksanometer (Busur Tumbuh)

Cara penggunaan auksanometer adalah sebagai berikut.

- 1) Ikatkan tali atau benang pada ujung batang tanaman dalam pot yang sudah disiapkan. Benang tersebut diletakkan pada katrol yang ditempatkan tepat di atas tanaman.
- 2) Kemudian pada katrol diletakkan alat penunjuk yang dapat berputar mengikuti perputaran katrol.
- 3) Pada ujung benang yang lain diikatkan sebuah beban pemberat.
- 4) Aturlah penunjuk pada benang katrol tadi agar bergerak sepanjang busur yang telah diberi skala.
- 5) Amatilah selama beberapa hari busur penunjuknya dan hitunglah berapa pertambahan tinggi atau panjang batang itu.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 1.17 Auksanometer

## RANGKUMAN

1. Pertumbuhan adalah suatu proses pertumbuhan ukuran dan volume serta jumlah secara *irreversibel*, yaitu tidak dapat kembali ke bentuk semula. Adapun perkembangan merupakan suatu proses menuju kedewasaan yang bersifat *kualitatif*.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan adalah sebagai berikut.
  - a. Faktor eksternal atau lingkungan yang berpengaruh adalah faktor iklim, tanah dan biologis.
  - b. Faktor internal (dalam) terdiri atas faktor intrasel yaitu sifat dari induknya, dan faktor intersel yaitu macam-macam hormon antara lain auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, etilen, asam traumalin, dan kalin.
3. Dalam pertumbuhan dan perkembangannya, tumbuhan akan mengalami beberapa periode yaitu periode lamban, periode eksponen, dan periode perlambatan.

4. Pertumbuhan pada tumbuhan ada dua macam, yaitu pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder.
5. Pertumbuhan primer adalah pertumbuhan yang terjadi pada jaringan meristematik dari hasil pembelahan sel-sel jaringan meristem primer. Pertumbuhan primer terjadi pada embrio, ujung akar, dan ujung batang.
6. Proses pertumbuhan dan perkembangan embrio disebut sebagai perkecambahan. Ada dua macam perkecambahan yaitu perkecambahan *hipogeal* dan *epigeal*.
7. Ada tiga macam bagian penyusun embrio pada proses perkecambahan yaitu *tunas embrionik* dan *kotiledon*.
8. Pada ujung akar terdapat tiga macam daerah titik tumbuh yaitu daerah pembelahan, daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi.
9. Pada ujung batang, titik tumbuhnya dilindungi oleh balutan bakal daunnya.
10. Teori titik tumbuh ada dua, yaitu teori Histogen dari Hanstein, serta teori Tunika dan Korpus dari Schmith.
11. Pertumbuhan sekunder merupakan kelanjutan dari pertumbuhan primer sebagai aktivitas jaringan meristem sekunder yaitu bertambah besarnya organ tubuh tumbuhan.

## LATIHAN



### I. Pilihlah jawaban yang benar!

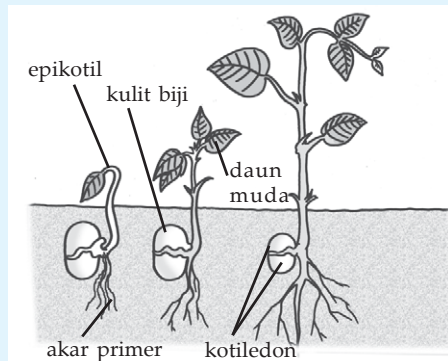
1. Proses perkembangan zigot dimulai dari sel induk yang membelah secara meiosis yang menghasilkan 4 sel haploid, yaitu ....
  - a. 1 sel besar dan 3 sel kecil yang melarut/melebur dalam sel besar
  - b. 2 sel besar dan 2 sel kecil yang melarut/melebur dalam sel besar
  - c. 3 sel besar dan 1 sel kecil yang melarut/melebur dalam sel besar
  - d. 4 sel yang sama besarnya
  - e. 4 sel yang sama kecilnya

2. Perkembangan suatu makhluk hidup adalah suatu proses menuju kedewasaan, artinya ....
  - a. dapat dinyatakan dengan suatu bilangan
  - b. tidak dapat dinyatakan dengan suatu bilangan
  - c. mengalami percepatan pertumbuhan secara logaritma
  - d. tidak mengalami percepatan pertumbuhan secara logaritma
  - e. mengalami perlambatan pertumbuhan secara logaritma
3. Proses pertumbuhan pada jaringan meristem dari hasil pembelahan sel-sel jaringan meristem primer terjadi pada ....
  - a. embrio-akar-batang
  - b. akar-batang-daun
  - c. embrio-ujung akar-ujung batang
  - d. ujung akar-ujung batang-ujung daun
  - e. zigot-embrio-ujung akar
4. Pada pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dikotil, embrionya memanjang dan melekat pada ....
  - a. hipokotil
  - b. epikotil
  - c. koleoptil
  - d. kotiledon
  - e. radikula

5. Perhatikan gambar!

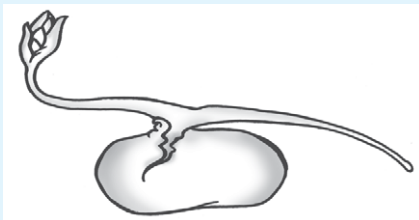
Tampak pada gambar, terjadi pertumbuhan memanjang dari epikotil sehingga menyebabkan plumula keluar dan menembus pada kulit bijinya yang nantinya akan muncul di atas tanah, sedangkan kotiledonnya masih berada di dalam tanah yang disebut perkecambahan ....

- a. hipogeal
- b. epigeal
- c. skutelum



- d. koleoriza
- e. koleoptil

6. Pada proses perkecambahan, terdapat bagian-bagian yang penting dalam embrio seperti berikut, *kecuali* ....
  - a. tunas embrionik
  - b. batang embrionik
  - c. akar embrionik
  - d. keping biji
  - e. kotiledon
7. Setelah proses perkecambahan maka terbentuk tanaman muda, pertumbuhan selanjutnya ditentukan oleh jaringan primer pada akar dan batang. Bagian yang paling cepat tumbuh pada akar terletak pada ....
  - a. daerah bagian belakang ujung akar
  - b. daerah bagian depan ujung akar
  - c. jaringan epidermis
  - d. jaringan endodermis
  - e. jaringan korteks
8. Tumbuhan dikotil, selain mengalami pertumbuhan primer, juga mengalami pertumbuhan sekunder yang terjadi pada ....
  - a. kambium gabus
  - b. korteks
  - c. epidermis
  - d. endodermis
  - e. felogen
9. Karena adanya aktivitas kambium yang membentuk xilem dan floem yang lebih cepat dari pertumbuhan kulit pada tumbuhan dikotil, untuk mencegah jaringan kulit paling luar menjadi rusak/pecah-pecah lebih lanjut maka dibentuk suatu jaringan pelindung yang disebut ....
  - a. vasis
  - b. felogen
  - c. lentisel
  - d. gabus
  - e. korteks
10. Perhatikan gambar berikut!



Fungsi hormon auksin pada perkecambahan yang benar adalah ....

- a. merangsang pemanjangan sel-sel akar dan batang
- b. merangsang pemanjangan sel-sel akar, batang, dan daun
- c. merangsang pemanjangan sel-sel akar dan menghambat sel-sel batang
- d. merangsang pemanjangan sel-sel batang dan menghambat sel-sel akar
- e. merangsang pertumbuhan daun.

**II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan benar!**

- 1. Jelaskan yang dimaksud pertumbuhan primer dan sekunder!
- 2. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan?
- 3. Apa yang dimaksud dengan hormon sitokinin? Jelaskan dan sebutkan fungsinya!
- 4. Sebutkan faktor ekstern yang mempengaruhi pertumbuhan pada tumbuhan!
- 5. Mengapa kulit batang pohon jati tampak pecah-pecah atau rusak?
- 6. Jelaskan yang dimaksud dengan perkecambahan hipogeal, lalu gambarlah!
- 7. Bagaimana pengaruh hormon auksin terhadap tumbuhan?
- 8. Adakah perbedaan antara pertumbuhan dan perkembangan? Jelaskan!
- 9. Alat apakah yang dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan pertumbuhan tanaman?
- 10. Gambarkan biji monokotil dan biji dikotil dan sebutkan bagian - bagiannya!



**Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Amatilah keadaan rumput di lapangan yang terlindung pohon besar dan rindang! Rumput yang tumbuh di bawah pohon rindang dapat tumbuh lebih cepat dibandingkan rumput sejenis yang tumbuh di tengah lapangan dan tidak terlindungi oleh pohon. Mengapa hal itu bisa terjadi? Berilah alasan yang tepat!
2.
  - a. Mengapa hormon auksin sangat berpengaruh sekali terhadap pertumbuhan suatu tanaman? Jelaskan!
  - b. Apakah yang dimaksud dengan pertumbuhan dan perkembangan suatu tanaman, adakah perbedaannya? Berilah alasannya!
3. Bagaimana cara kita mengetahui atau membuktikan bahwa suatu tanaman sangat membutuhkan cahaya matahari untuk pertumbuhannya?

# BAB 2

## METABOLISME

### Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari materi tentang metabolisme. Dengan mempelajari materi ini diharapkan Anda dapat mendeskripsikan fungsi, proses, dan keterkaitan yang terjadi dalam proses metabolisme.

Perhatikan Gambar 2.1!



Sumber: Haryana, 2007

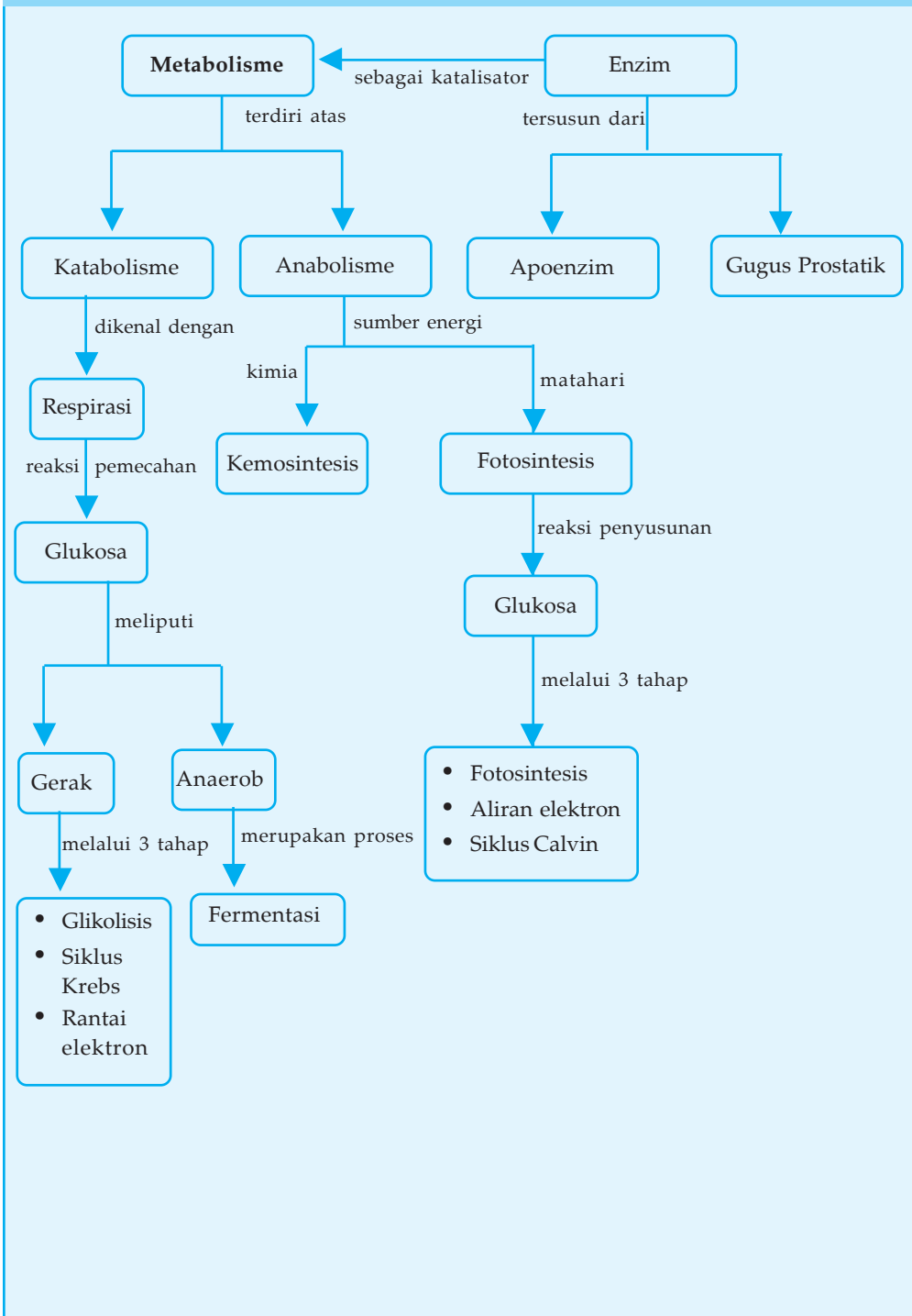
Gambar 2.1 Orang berteduh di bawah pohon

### Kata Kunci

- enzim
- ATP
- oksidasi
- reduksi
- metabolisme
- katabolisme
- anabolisme
- fotosintesis
- respirasi

Tuhan telah menciptakan beraneka ragam makhluk hidup yang saling bergantung. Seperti tampak pada gambar 2.1. Gambar itu memperlihatkan orang yang sedang berteduh di bawah pohon pada siang hari yang dapat merasakan kesejukan dan kesegaran udara di sekitarnya. Udara di sekitarnya terasa sejuk karena banyak oksigen murni yang berasal dari hasil fotosintesis yang terjadi pada daun tumbuhan, demikian pula tumbuh-tumbuhan yang memerlukan CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) yang berasal dari udara bebas dan pernapasan manusia untuk fotosintesis.

## PETA KONSEP

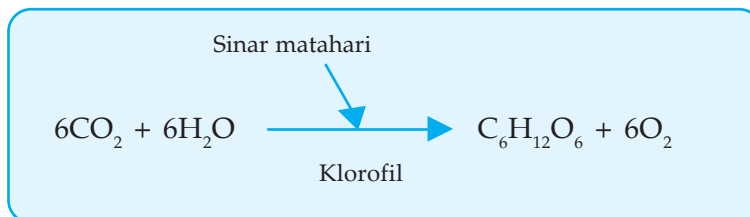


Fotosintesis sebenarnya merupakan suatu proses pembentukan senyawa kimia kompleks dari senyawa-senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan sinar matahari. Hasil akhir dari fotosintesis berupa karbohidrat yang akan digunakan sebagai sumber makanan dan oksigen yang terlepas ke udara bebas sehingga orang yang berada di sekitarnya dapat menghirup udara segar.

Oksigen yang dihasilkan tumbuhan diperlukan manusia dan hewan untuk bernapas. Pernapasan atau respirasi sebenarnya merupakan proses penguraian ikatan kimia molekul kompleks menjadi molekul sederhana yang terjadi dalam sel tubuh. Untuk mengetahui proses fotosintesis dan respirasi yang terjadi dalam sel makhluk hidup, pelajari materi berikut dengan cermat!

Coba pikirkan, dari manakah tumbuhan dan manusia mendapatkan energi? Tumbuhan merupakan makhluk hidup yang *autotrof*, yaitu makhluk hidup yang mampu menghasilkan makanannya sendiri. Makanannya itu dalam bentuk senyawa kimia, yang diperoleh melalui proses fotosintesis dalam daun.

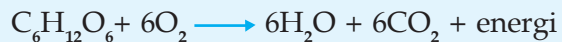
Ingatlah kembali proses fotosintesis yang sudah Anda pelajari di SMP/MTs! Fotosintesis merupakan suatu peristiwa penggabungan zat anorganik (seperti unsur C, H, dan O) menjadi zat organik berupa senyawa glukosa (karbohidrat), dengan menggunakan energi matahari. Secara sederhana, reaksi fotosintesis dapat dituliskan sebagai berikut:



Peristiwa fotosintesis hanya terjadi dan berlangsung jika terdapat klorofil dan sinar matahari. Klorofil merupakan pigmen hijau berbentuk butiran-butiran, terletak di dalam kloroplas yang terdapat di daun. Klorofil memiliki sifat mampu menangkap dan memantulkan sinar dalam gelombang yang berbeda (*fluoresen*). Klorofil kadang-kadang dapat juga dijumpai pada batang tumbuhan, karena daunnya telah mengalami modifikasi bentuk dan fungsi dari daun ke batang, contohnya tanaman kaktus.

Manusia hidup selalu membutuhkan energi, bagaimana caranya mendapatkan energi? Makan dan bernapas (respirasi) merupakan cara yang dilakukan manusia untuk memperoleh energi. Respirasi merupakan suatu proses menghasilkan energi yang diperlukan untuk memecah molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana, utamanya molekul gula sederhana menjadi karbondioksida dan uap air serta energi.

Secara sederhana, reaksi respirasi dapat dituliskan sebagai berikut.



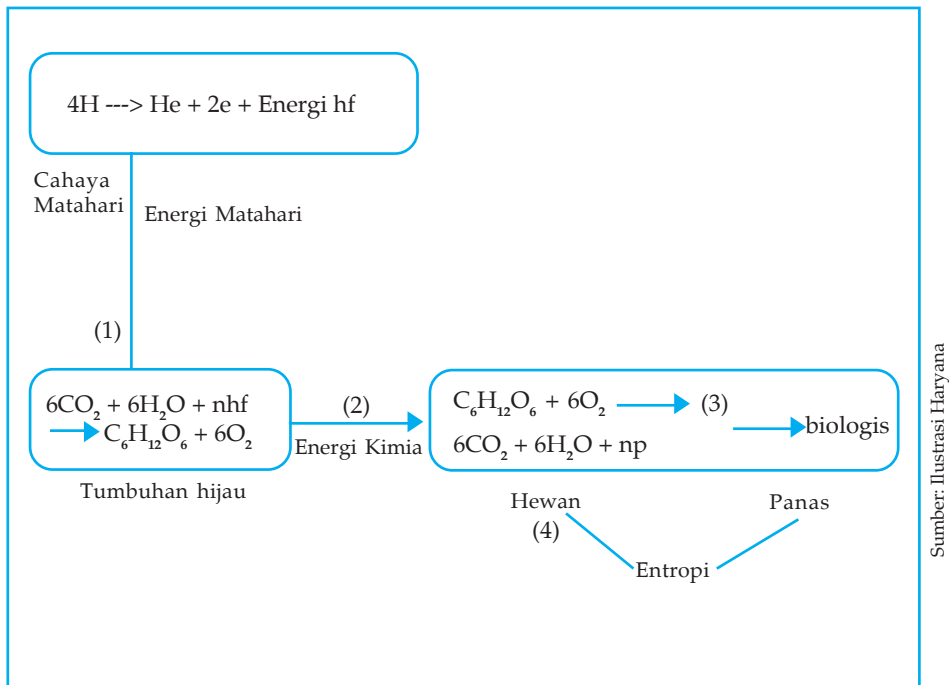
Perhatikan reaksi kimianya, jika kita lihat reaksinya berkebalikan dengan reaksi fotosintesis. Tahukah Anda proses kimia yang menyangkut respirasi sebenarnya adalah kompleks, yaitu proses kimia yang ditandai dengan rentetan reaksi kimia yang akan kita pelajari pada sub bab berikutnya.

## A METABOLISME

Seperti yang Anda ketahui dalam proses penyediaan energi, baik pada tumbuhan maupun manusia, melalui rentetan reaksi kimia. Jika seluruh reaksi kimia terjadi dalam sel makhluk hidup, maka reaksinya disebut reaksi biokimia. Seluruh proses atau reaksi biokimia yang terjadi dalam sel disebut *metabolisme*. Metabolisme merupakan rangkaian reaksi kimia yang diawali oleh substrat awal dan diakhiri dengan produk akhir, yang terjadi dalam sel. Perlu Anda ketahui reaksi tersebut meliputi reaksi penyusunan energi (*anabolisme*) dan reaksi penggunaan energi (*katabolisme*). Dalam reaksi biokimia terjadi perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain, misalnya energi kimia dalam bentuk senyawa Adenosin Trifosfat (*ATP*) diubah menjadi energi gerak untuk melakukan suatu aktivitas seperti bekerja, berlari, jalan, dan lain-lain.

Proses metabolisme yang terjadi di dalam sel makhluk hidup seperti pada tumbuhan dan manusia pada Gambar 2.1 di depan, melibatkan sebagian besar enzim (*katalisator*) baik berlangsung secara sintesis (*anabolisme*) dan respirasi (*katabolisme*). Apa peran enzim di dalam reaksi kimia yang terjadi di dalam sel? Pada saat berlangsungnya peristiwa reaksi biokimia di dalam sel, enzim bekerja secara spesifik. Enzim mempercepat reaksi kimia yang menghasilkan senyawa *ATP* dan senyawa-senyawa lain yang berenergi tinggi seperti pada proses respirasi, fotosintesis, kemosisintesis, sintesis protein, dan lemak.

Senyawa Adenosin Trifosfat (*ATP*) merupakan molekul kimia berenergi tinggi. Berasal dari manakah energi itu? Molekul Adenosin Trifosfat (*ATP*) berasal dari perubahan glukosa melalui serangkaian reaksi kimia yang panjang dan kompleks. Energi yang terkandung dalam glukosa tersebut berupa energi ikatan kimia yang berasal dari proses transformasi energi sinar matahari. Transformasi energi tersebut dalam biologi dapat digambarkan melalui Gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2.2 Bagan transformasi energi dalam biologi

Bagan itu dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Selama proses fotosintesis, energi matahari yaitu dalam bentuk radiasi atau pancaran cahaya matahari berubah menjadi energi kimia dalam ikatan senyawa organik. Lambang  $f$  merupakan frekuensi cahaya dan lambang  $h$  merupakan konstanta Planck, yang berkaitan dengan energi dan frekuensi.
2. Pada waktu dalam respirasi sel, energi kimia dalam senyawa kimia berubah menjadi persenyawaan yang berupa ATP.
3. Dalam sel, energi kimia ikatan fosfat yang kaya akan energi (*ATP*) dapat difungsikan untuk kerja mekanis, listrik, dan kimia.
4. Pada akhirnya energi mengalir ke sekeliling sel dan hilang sebagai energi panas dalam bentuk "entropi".

Bagan transformasi energi dalam biologi dapat dibedakan menjadi tiga proses berikut.

### 1. Transformasi Energi oleh Klorofil

Energi radiasi sinar matahari yang ditangkap oleh klorofil kemudian diubah menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Energi kimia tersebut digunakan untuk mensintesis  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  menjadi glukosa dan senyawa kompleks lainnya sebagai energi pengikat dan penghubung inti-inti atom yang tersimpan dalam bentuk senyawa karbohidrat (sebagai bahan makanan). Jadi, energi radiasi matahari yang berbentuk energi kinetik diubah menjadi energi potensial dan energi kimiawi yang disimpan dalam molekul karbohidrat dan bahan makanan lainnya sebagai energi ikatan yang menghubungkan atom-atom bakunya.

### 2. Transformasi Energi oleh Mitokondria

Di dalam mitokondria energi kimia digunakan untuk mengubah karbohidrat dan senyawa lainnya sebagai energi ikatan fosfat melalui respirasi sel untuk oksidasi DNA, RNA, protein, dan lemak. Mitokondria banyak terdapat pada sel-sel otot makhluk hidup dan sel-sel saraf.

### 3. Transformasi Energi oleh Sel

Jika sel melakukan kegiatan, maka energi kimiawi dari ikatan fosfat akan terlepas dan berubah menjadi energi bentuk lain seperti energi mekanik untuk kerja kontraksi otot, energi listrik untuk meneruskan impuls saraf, energi sintesis untuk membangun senyawa pertumbuhan, serta sisanya akan mengalir ke sekeliling sel dan hilang sebagai energi panas.

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, pada saat berlangsungnya proses metabolisme dalam sel makhluk hidup, ada beberapa komponen penting yang berperan di dalamnya yaitu adanya aktivitas enzim, dihasilkan energi tinggi berupa *Adenosin Trifosfat* (ATP) dan reaksi oksidasi reduksi (pelepasan dan pembebasan) elektron.

## B KOMPONEN-KOMPONEN YANG BERPERAN DALAM METABOLISME

Untuk memperlancar berlangsungnya proses reaksi metabolisme dalam sel makhluk hidup melibatkan komponen-komponen penting yang sangat berperan sebagai penunjangnya. Tanpa komponen-komponen penunjang itu, maka proses reaksinya tidak akan berjalan dengan lancar. Komponen-komponen yang sangat berperan dalam proses metabolisme sel makhluk hidup terdiri atas enzim, Adenosin Trifosfat (ATP), reaksi oksidasi reduksi dengan penjelasan sebagai berikut.

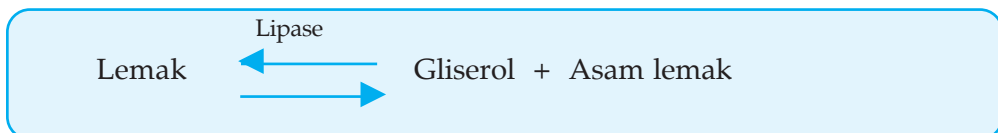
### 1. Enzim

Enzim merupakan senyawa organik atau katalis protein yang dihasilkan oleh sel dan berperan sebagai katalisator yang dinamakan *biokatalisator*. Jadi, enzim dapat mengatur kecepatan dan kekhususan ribuan reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel. Perlu Anda ingat, walaupun enzim dibuat di dalam sel, tetapi untuk bertindak sebagai katalis tidak harus berada di dalam sel. Reaksi yang dapat dikendalikan oleh enzim antara lain respirasi, fotosintesis, pertumbuhan, dan perkembangan, kontraksi otot, pencernaan dan fiksasi nitrogen.

Secara kimia enzim terdiri atas dua bagian (enzim lengkap/*holoenzim*), yaitu bagian protein (*apoenzim*) dan bagian bukan protein (*gugus prostetik*) yang dihasilkan dalam sel makhluk hidup. Jika gugus prostetiknya berasal dari senyawa organik kompleks (misalnya, NADH, FADH, koenzim A dan vitamin B) disebut koenzim, apabila berasal dari senyawa anorganik (misalnya, besi, seng, tembaga) disebut *kofaktor*. Apakah semua senyawa organik yang dihasilkan oleh makhluk hidup adalah enzim? Apa ciri-cirinya?

Senyawa organik yang merupakan enzim memiliki ciri-ciri yaitu enzim adalah protein, diperlukan dalam jumlah yang sedikit, dapat digunakan berulang kali, bekerja secara khusus, rusak oleh panas, dan sensitif terhadap keadaan lingkungan yang terlalu asam atau terlalu basa.

Enzim memiliki sifat khusus, yaitu hanya dapat mengkatalisis suatu reaksi tertentu, sebagai contoh enzim lipase hanya dapat mengkatalisis reaksi perubahan dari lemak menjadi gliserol dan asam lemak. Reaksinya sebagai berikut.

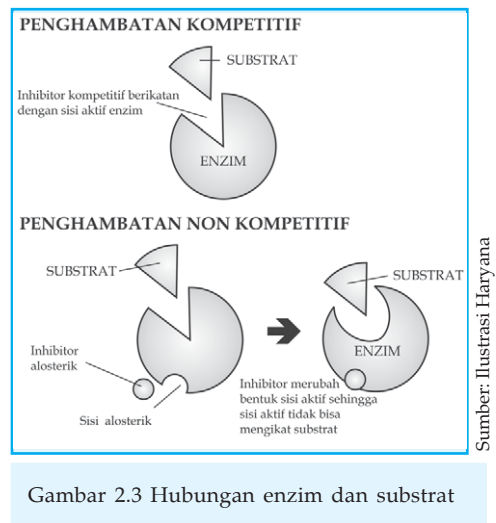




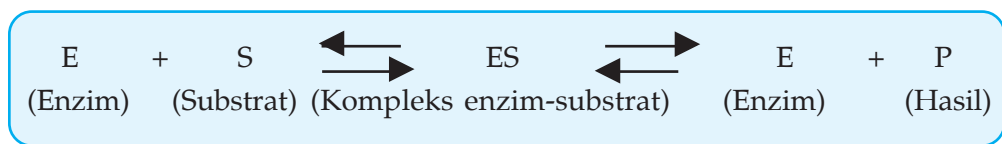
Sifat khusus enzim lainnya adalah tidak ikut bereaksi, artinya enzim hanya memproses substrat (contohnya, lemak) menjadi produk (contohnya, gliserol dan asam lemak) tanpa ikut mengalami perubahan dalam reaksi itu.

Bahan tempat kerja enzim disebut substrat dan hasil dari reaksi disebut produk. Dengan demikian enzim dapat digunakan kembali untuk mengkatalisis reaksi yang sama, berikutnya. Mekanisme kerja enzim dapat Anda lihat pada Gambar 2.3.

Secara sederhana cara kerja enzim dapat digambarkan dengan kunci dan gembok. Kompleks enzim dapat tumbuh pada substrat karena pada permukaan enzim terdapat sisi aktif. Sisi aktif tersebut mempunyai konfigurasi aktif tertentu dan hanya substrat tertentu yang dapat bergabung dan menyebabkan enzim dapat bekerja secara spesifik. Secara sederhana reaksi enzim dituliskan:



Gambar 2.3 Hubungan enzim dan substrat



Sifat-sifat enzim selain sebagai biokatalisator dan sebagai suatu protein, enzim mempunyai sifat yaitu berperan tidak bolak-balik. Artinya enzim dapat bekerja menguraikan suatu substrat menjadi substrat tertentu dan tidak sebaliknya dapat menyusun substrat sumber dari hasil penguraian, misalnya enzim *protease* dapat menguraikan protein menjadi asam amino, tetapi tidak menggabungkan asam aminonya menjadi protein.

Enzim menjadi rusak apabila berada pada suhu yang terlalu panas atau terlalu dingin. Sebagian besar enzim akan rusak pada suhu di atas 60°C karena proteinnya (gugus prostetik) menggumpal (koagulasi). Jika telah rusak maka tidak akan berfungsi lagi meskipun berada pada suhu normal, rusaknya enzim oleh panas disebut *denaturasi*. Selain itu, kerja enzim juga dapat terhalang oleh zat lain. Zat yang dapat menghambat kerja enzim disebut *inhibitor*, contohnya CO, Arsen, Hg, dan Sianida. Sebaliknya zat yang dapat mempercepat jalannya reaksi disebut *aktivator*, contohnya ion  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , zat organik seperti koenzim-A.

Enzim dapat bekerja optimal pada pH tertentu, misalnya enzim lipase, pH optimal 5,7–7,5. Aplikasi pH yang tidak cocok maka sifat kerja enzim dapat menyebabkan ionisasi dari gugus karboksil dan amino dari bagian-bagian enzim yang tersusun atau apoenzim dan dapat menyebabkan denaturasi, oleh karena itu akan terjadi perubahan struktur enzim sehingga tidak dapat bekerja dengan baik. Agar lebih jelas lakukan kegiatan kelompok 1 berikut.

## KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan :** Mengetahui sifat-sifat enzim

**Alat dan Bahan :**

1. Air jeruk
2. Air susu
3. Gelas

**Cara Kerja :**

1. Sediakan terlebih dahulu bahan-bahan dan alat tersebut.
2. Tuangkan air susu ke dalam gelas, lalu amatilah larutan tersebut.
3. Masukkan air jeruk secukupnya ke dalam air susu yang sudah dituangkan dalam gelas tadi.
4. Amatilah dan perhatikan perubahan yang terjadi.
5. Apakah air susu tersebut akan mengental atau akan lebih encer? Mengapa hal tersebut bisa terjadi?
6. Setelah Anda amati kesimpulan apa yang Anda dapatkan, diskusikan dengan teman-teman sekelompok Anda!
7. Bandingkan hasil Anda dengan kelompok lain kemudian presentasikan di depan kelas!

Perlu Anda ketahui juga penamaan enzim pada umumnya disesuaikan oleh nama substrat yang dipecah atau dikatalisis oleh enzim dan biasanya diberi akhiran *-ase*. Beberapa jenis enzim dan peranannya dapat Anda lihat pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1 Jenis-Jenis Enzim dan Peranannya**

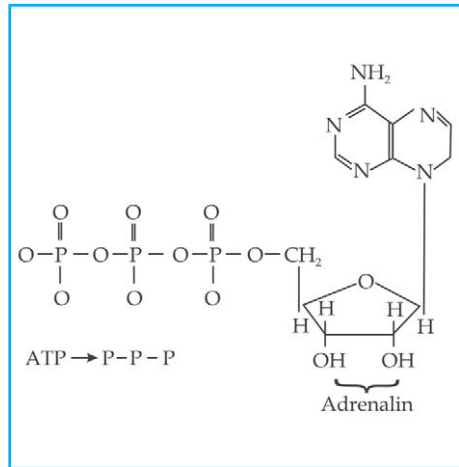
No.	Golongan Enzim	Jenis Enzim	Peranan Enzim
1.	Karbohidrase	a. Selulose b. Amilase c. Pektinase d. Maltose e. Sukrose f. Laktose	Menguraikan selulosa (polisakarida) menjadi selabiosa (disakarida) Menguraikan amilum (polisakarida) menjadi maltosa (disakarida) Menguraikan pektin menjadi asam pektin Menguraikan maltosa menjadi glukosa Mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa Mengubah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa
2.	Protease	a. Pepsin b. Tripsin c. Entrokinase d. Peptidase e. Renin f. gelatinase	Memecah protein menjadi pepton Menguraikan pepton menjadi asam amino Menguraikan pepton menjadi asam amino Menguraikan peptida menjadi asam amino Menguraikan kasein dan susu Menguraikan gelatin
3.	Esterase	a. Lipase b. Fostatase	Menguraikan lemak menjadi gliserol dan asam lemak Menguraikan suatu ester hingga terlepas asam fosfornya

## 2. Adenosin Trifosfat (ATP)

*Adenosin Trifosfat* (ATP) merupakan senyawa kimia berenergi tinggi, tersusun dari ikatan adenin purin terikat pada gula yang mengandung 5 atom C, yaitu ribose dan tiga gugus fosfat. Meskipun digolongkan sebagai molekul berenergi tinggi, ikatan kimianya labil dan mudah melepaskan gugus fosfatnya. Pada saat sel membutuhkan energi, ATP dapat segera dipecah melalui reaksi hidrolisis (reaksi dengan air) dan terbentuk energi yang sifatnya mobil sehingga dapat diangkut dan digunakan oleh seluruh bagian sel tersebut.

Agar lebih jelas untuk memahami struktur molekul ATP, perhatikan baik-baik Gambar 2.4!

Energi yang dikandung ATP, jika akan digunakan terlebih dahulu dipecah melalui reaksi hidrolisis dengan cara melepaskan 2 ikatan fosfat, yaitu antara ikatan fosfat kedua dan ketiga kemudian dihasilkan *Adenosin Difosfat* (ADP). Pada reaksi hidrolisis tersebut akan dihasilkan energi yang dapat digunakan oleh sel untuk berbagai aktivitasnya. Perubahan ATP menjadi ADP diikuti dengan pembebasan energi sebanyak 7,3 kalori/mol. Peristiwa perubahan ATP menjadi ADP merupakan reaksi yang dapat balik, reaksinya sebagai berikut.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 2.4 Struktur molekul ATP

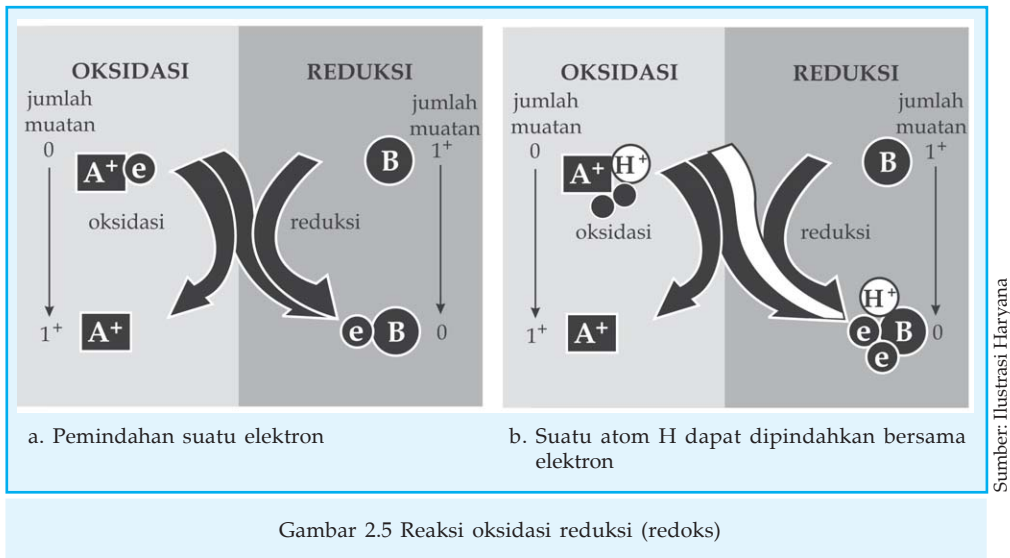


Karena fungsi ATP sebagai penyimpan energi yang sewaktu-waktu siap digunakan dan bersifat universal (reaksi bolak balik), maka disebut sebagai *universal energy carrier*. Sel dalam menggunakan energi ATP tersebut sangat efektif karena hanya berlangsung satu sistem yaitu dengan hanya mengambil energi dari sumber ATP.

### 3. Reaksi Oksidasi-Reduksi (Redoks)

Reaksi metabolik yang terjadi dalam sel melibatkan reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Apa yang dimaksud reaksi oksidasi dan reaksi reduksi itu? *Reaksi oksidasi* adalah suatu reaksi yang melibatkan oksigen dengan pelepasan elektron dari satu atom atau senyawa, sebaliknya *reaksi reduksi* adalah suatu reaksi yang melibatkan oksigen dengan penambahan elektron dari satu atom atau senyawa.

Di dalam sel, kedua reaksi tersebut terjadi secara bersamaan (*simultan*), artinya jika elektron dipindahkan dari molekul sebagai pemberi (*donor*) elektron maka ada molekul lain yang bertindak sebagai penerima (*akseptor*) elektron. Dengan demikian, donor elektron menjadi molekul yang teroksidasi sedangkan akseptor menjadi molekul yang tereduksi. Reaksi simultan antara oksidasi dan reduksi disebut dengan *reaksi redoks*. Terjadinya *reaksi redoks* dalam sel, dapat Anda lihat pada Gambar 2.5 berikut ini.



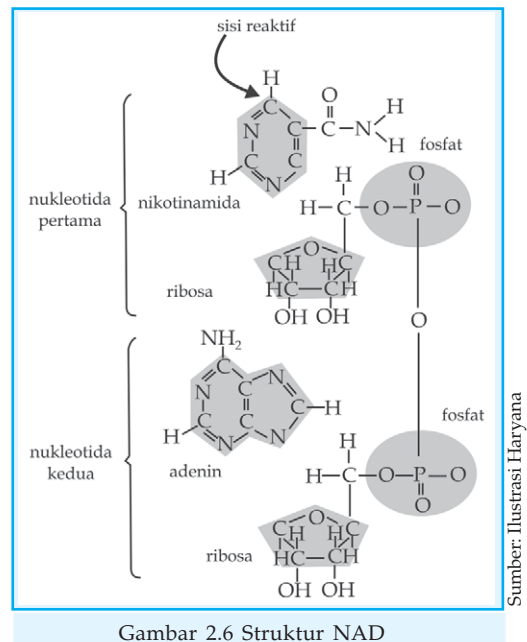
Gambar 2.5 Reaksi oksidasi reduksi (redoks)

Pada umumnya, reaksi redoks yang terjadi di dalam sel merupakan reaksi dengan terjadinya pemindahan elektron dalam bentuk hidrogen ( $H^+$ ) yang mengandung satu proton ( $e^-$ ). Ada dua koenzim yang penting dalam reaksi Redoks pada metabolisme sel yang bertindak sebagai pembawa elektron (elektron carriers), yaitu koenzim Nikotinamid Adenin Dinukleotida (NAD) dan Flavin Adenin Dinukleotida (FAD). Perhatikanlah struktur NAD seperti pada Gambar 2.6.

Kedua koenzim tersebut mempunyai struktur yang serupa (identik), jika molekul NAD direduksi menjadi molekul  $NADH_2$  maka dua elektron ( $H^{2+}$ ) dan satu proton

( $e^-$ ) akan ditambahkan ke dalam molekul NAD menjadi  $NADH_2$ . Selama perpindahan elektron tersebut dalam suatu seri reaksi berantai akan menghasilkan energi tinggi dalam bentuk ATP yang siap digunakan oleh sel.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa proses metabolisme dalam sel makhluk hidup terjadi reaksi yang sifatnya pemecahan senyawa ikatan kimia kompleks menjadi senyawa ikatan kimia sederhana, yang disebut reaksi *katabolisme*.



Gambar 2.6 Struktur NAD

## C KATABOLISME

Telah dijelaskan sebelumnya, bahwa katabolisme merupakan reaksi pemecahan atau penguraian senyawa kompleks (organik) menjadi senyawa yang lebih sederhana (anorganik). Dalam reaksi penguraian tersebut dapat dihasilkan energi yang berasal dari terlepasnya ikatan-ikatan senyawa kimia yang mengalami penguraian. Tetapi energi yang dihasilkan itu tidak dapat langsung digunakan oleh sel, melainkan harus diubah dalam bentuk senyawa *Adenosin Trifosfat* (ATP) yang mengandung energi tinggi. Tujuan utama reaksi katabolisme adalah untuk membebaskan energi yang terkandung di dalam senyawa sumber, yaitu *Adenosin Trifosfat* (ATP). Reaksi penguraian energi pada katabolisme, secara umum dikenal dengan proses *respirasi*.

### 1. Respirasi

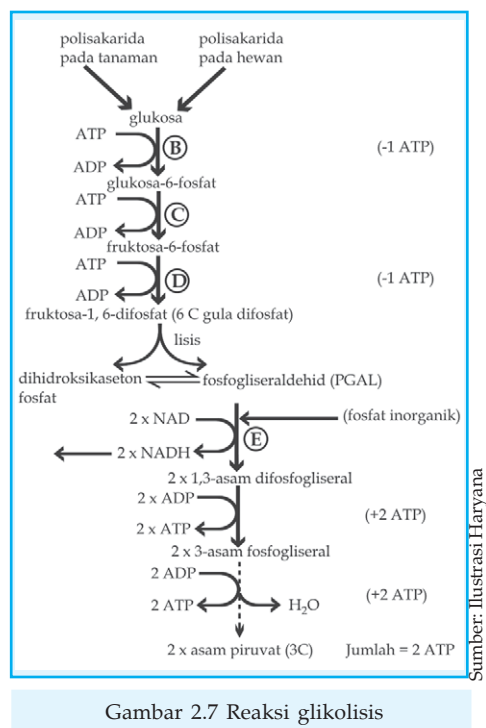
Respirasi merupakan proses pembebasan energi kimia dalam tubuh organisme melalui reaksi oksidasi (penambahan oksigen) pada molekul organik. Dari peristiwa tersebut akan dihasilkan energi dalam bentuk *Adenosin Trifosfat* (ATP) dan  $\text{CO}_2$  serta  $\text{H}_2\text{O}$  (sebagai hasil sisa).



Jika molekul yang digunakan sebagai substrat untuk dioksidasi adalah gula yaitu glukosa, maka prosesnya terdiri atas tiga tahap, yaitu *glikolisis*, *dekarboksilasi oksidatif* (*siklus Krebs*) dan *fosforilasi oksidatif* (*transpor elektron*).

#### a. Glikolisis (Respirasi Aerob)

Glikolisis merupakan reaksi tahap pertama secara aerob (cukup oksigen) yang berlangsung dalam mitokondria. Glikolisis ini terjadi pada saat sel memecah molekul glukosa yang mengandung 6 atom C (6C) menjadi 2 molekul asam piruvat yang mengandung 3 atom C (3C) yang melalui dua rangkaian reaksi yaitu rangkaian I (pelepasan energi) dan rangkaian II (memerlukan oksigen) dengan uraian sebagai berikut.



Gambar 2.7 Reaksi glikolisis

## Rangkaian I

Rangkaian I (pelepasan energi) berlangsung di dalam sitoplasma (dalam kondisi anaerob) yaitu diawali dari reaksi penguraian molekul glukosa menjadi glukosa-6-fosfat yang membutuhkan (-1) energi dari ATP dan melepas 1 P. Jika glukosa-6-fosfat mendapat tambahan 1 P menjadi fruktosa-6-fosfat kemudian menjadi fruktosa 1,6 fosfat yang membutuhkan (-1) energi dari ATP yang melepas 1 P. Jadi untuk mengubah glukosa menjadi fruktosa 1,6 fosfat, energi yang dibutuhkan sebanyak (-2) ATP. Selanjutnya fruktosa 1,6 fosfat masuk ke mitokondria dan mengalami lisis (pecah) menjadi dehidroksik aseton fosfat dan fosfogliseraldehid.

## Rangkaian II

Rangkaian II (membutuhkan oksigen) berlangsung di dalam mitokondria (dalam kondisi awal), molekul fosfogliseraldehid yang mengalami reaksi fosforilasi (penambahan gugus fosfat) dan dalam waktu yang bersamaan, juga terjadi reaksi dehidrogenasi (pelepasan atom H) yang ditangkap oleh akseptor hidrogen, yaitu koenzim NAD. Dengan lepasnya 2 atom H, fosfogliseraldehid berubah menjadi  $2 \times 1,3$ -asam difosfogliseral kemudian berubah menjadi  $2 \times 3$ -asam fosfogliseral yang menghasilkan (+2) energi ATP. Selanjutnya  $2 \times 3$ -asam fosfogliseral tersebut berubah menjadi  $2 \times$  asam piruvat dengan menghasilkan (+2) energi ATP serta  $H_2O$  (sebagai hasil sisa). Jadi, energi hasil akhir bersih untuk mengubah glukosa menjadi  $2 \times$  asam piruvat, adalah:

Energi yang dibutuhkan Tahap I : (-2) ATP

Energi yang dihasilkan Tahap II : (+4) ATP

---

Energi hasil akhir bersih : 2 ATP

Pada perjalanan reaksi berikutnya, asam piruvat tergantung pada ketersediaan oksigen dalam sel. Jika oksigen cukup tersedia, asam piruvat dalam mitokondria akan mengalami *dekarboksilasi oksidatif* yaitu mengalami pelepasan  $CO_2$  dan reaksi oksidasi dengan pelepasan 2 atom H (*reaksi dehidrogenasi*). Selama proses tersebut berlangsung, maka asam piruvat akan bergabung dengan koenzim A ( $KoA-SH$ ) yang membentuk asetil koenzim A (asetil  $KoA$ ). Dalam suasana aerob yang berlangsung di membran krista mitokondria terbentuk juga hasil yang lain, yaitu  $NADH_2$  dari NAD yang menangkap lepasnya 2 atom H yang berasal dari reaksi dehidrogenasi. Kemudian kumpulan  $NADH_2$  diikat oleh rantai respirasi di dalam mitokondria. Setelah asam piruvat bergabung dengan koenzim dan membentuk asetil Co-A kemudian masuk dalam tahap siklus Krebs.

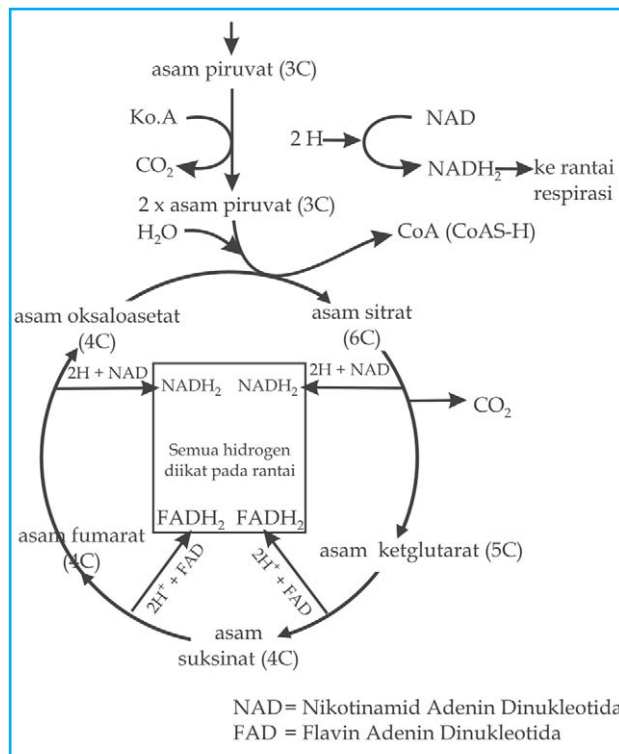


## b. Siklus Krebs/Siklus Asam Sitrat

Penjabaran selanjutnya, asetil Ko-A yang masuk dalam tahap kedua yaitu siklus Krebs atau siklus asam sitrat. Mengapa pada tahapan kedua ini dinamakan siklus Krebs? Siklus Krebs berasal dari nama penemuannya yaitu Sir Hans Krebs (1980-1981), seorang ahli biokimia Jerman yang mengemukakan bahwa glukosa secara perlahan dipecah di dalam mitokondria sel dengan suatu siklus dinamakan siklus Krebs.

Asetil koenzim A masuk siklus Krebs melalui reaksi hidrolisis dengan melepas koenzim A dan gugus asetil (mengandung 2 atom C), kemudian bergabung dengan asam oksaloasetat (4 atom C) membentuk asam sitrat (6 atom C). Energi yang digunakan untuk pembentukan asam sitrat berasal dari ikatan asetil koenzim A. Selanjutnya, asam sitrat (C6) secara bertahap menjadi asam oksaloasetat (C4) lagi yang kemudian akan bergabung dengan asetil Ko-A. Peristiwa pelepasan atom C diikuti dengan pelepasan energi tinggi berupa ATP yang dapat langsung digunakan oleh sel. Selama berlangsungnya reaksi oksigen yang diambil dari air untuk digunakan mengoksidasi dua atom C menjadi  $\text{CO}_2$ , proses tersebut disebut *dekarboksilasi oksidatif*. Dalam setiap oksidasi 1 molekul asetil koenzim A akan dibebaskan 1 molekul ATP, 8 atom H, dan 2 molekul  $\text{CO}_2$ . Atom H yang dilepaskan itu kemudian ditangkap oleh *Nikotinamid Adenin Dinukleotida* (NAD) dan *Flavin Adenin Dinukleotida* (FAD) untuk dibawa menuju sistem transpor yang direaksikan dengan oksigen menghasilkan air. Secara skematis siklus Krebs dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Tampak pada Gambar 2.8 bahwa asetil Ko-A melepas 2 atom C-nya yang ditangkap oleh oksaloasetat menjadi asam sitrat. Karena adanya penambahan dan pelepasan  $\text{H}_2\text{O}$ , selanjutnya asam sitrat diubah menjadi asam isositrat. Asam isositrat kemudian melepaskan gugus karboksil



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 2.8 Siklus Krebs



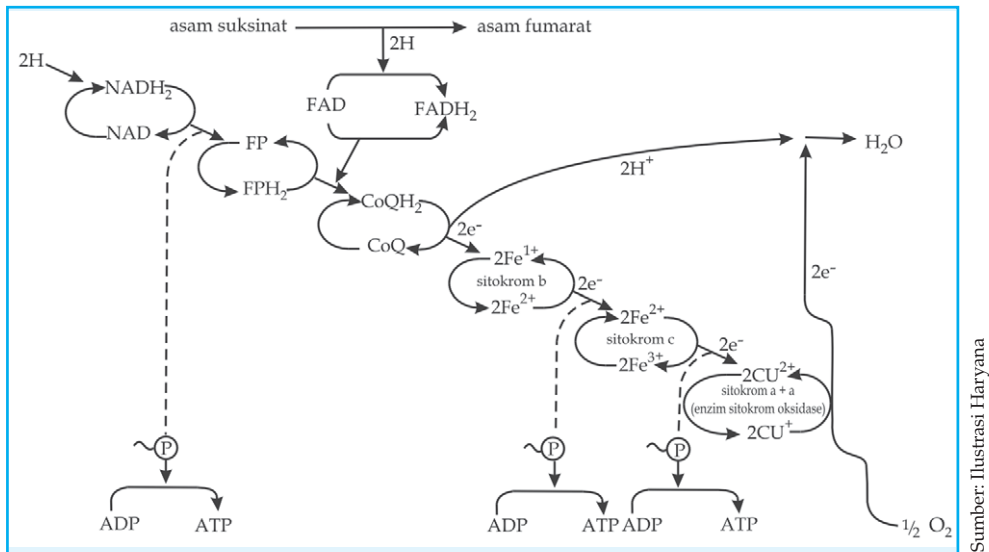
(CO<sub>2</sub>) terbentuk asam  $\alpha$ -Ketoglutamat yang disertai dengan pelepasan hidrogen dan elektron yang ditangkap NAD membentuk NADH. Selanjutnya asam  $\alpha$ -Ketoglutamat juga melepaskan gugus karboksit (CO<sub>2</sub>) disertai dengan pelepasan hidrogen dan elektron yang ditangkap NAD membentuk NADH. Asam  $\alpha$ -Ketoglutamat lalu berikatan dengan molekul Ko-A membentuk suksinat Ko-A. KoA kemudian dilepas dan digantikan oleh fosfat (P) berasal dari GTP, terikat pada ADP membentuk ATP, menyebabkan suksinil Ko-A berubah menjadi asam suksinat. Asam suksinat melepaskan 2 hidrogen (2H) dan elektron yang ditangkap FAD membentuk FADH<sub>2</sub>, asam suksinat berubah menjadi asam fumarat. Kemudian asam fumarat dapat menggunakan air (H<sub>2</sub>O) menjadi asam malat, selanjutnya asam malat melepaskan hidrogen dan elektron ditangkap oleh NAD<sup>+</sup> membentuk NADH. Dan akhirnya asam malat berubah menjadi asam oksaloasetat. Asam oksaloasetat yang mendapat transfer 2 atom karbon (2C) dari asetil Ko-A akan menjadi siklus Krebs kembali.

Pada akhir siklus Krebs ini akan terbentuk kembali asam oksaloasetat yang berikatan dengan molekul asetil koenzim A yang lain dan berlangsung kembali siklus Krebs, karena selama reaksi oksidasi pada molekul glukosa hanya dihasilkan 2 molekul asetil koenzim A, maka siklus Krebs harus berlangsung sebanyak dua kali. Jadi hasil bersih dari oksidasi 1 molekul glukosa akan dihasilkan 2 ATP dan 4 CO<sub>2</sub> serta 8 pasang atom H yang akan masuk ke rantai transpor elektron.

### c. Rantai Transpor Elektron

Sebelum masuk rantai transpor elektron yang berada dalam mitokondria, 8 pasang atom H yang dibebaskan selama berlangsungnya siklus Krebs akan ditangkap oleh NAD dan FAD menjadi NADH dan FADH. Pada saat masuk ke rantai transpor elektron, molekul tersebut mengalami rangkaian reaksi oksidasi-reduksi (Redoks) yang terjadi secara berantai dengan melibatkan beberapa zat perantara untuk menghasilkan ATP dan H<sub>2</sub>O. Beberapa zat perantara dalam reaksi redoks, antara lain flavoprotein, koenzim A dan Q serta sitokrom yaitu sitokrom a, a<sub>3</sub>, b, c, dan c<sub>1</sub>. Semua zat perantara itu berfungsi sebagai pembawa hidrogen/pembawa elektron (*electron carriers*).

Apakah yang dihasilkan dari reaksi rantai transpor elektron? Jika Anda lihat dengan baik pada gambar reaksi rantai transpor elektron, bahwa untuk 1 molekul NADH<sub>2</sub> yang masuk ke rantai transpor elektron dapat dihasilkan 3 molekul ATP sedangkan dari 1 molekul FADH<sub>2</sub> dapat dihasilkan 2 molekul ATP.



Gambar 2.9 Bagan transformasi energi dalam Biologi

Sumber: Ilustrasi Haryana

Jadi, selama reaksi oksidasi dari 1 molekul glukosa dapat dihasilkan 38 ATP, terdiri atas 2 ATP dari glikolisis, 2 ATP dari dekarboksilasi oksidatif dan 6 ATP dari siklus Krebs (berasal dari 10 NADH<sub>2</sub>) serta 4 ATP dari siklus Krebs (berasal dari FADH<sub>2</sub>), jika dijumlahkan akan diperoleh hasil seperti berikut.

- 1) Energi ATP berasal dari 10 NADH<sub>2</sub> selama 3 kali =  $3 \times (2+2+6) = 34$
- 2) Energi ATP berasal dari 2 NADH<sub>2</sub> selama 2 kali =  $2 \times 2 = 4$

#### d. Respirasi Anaerob (Fermentasi)

Pada kebanyakan tumbuhan dan hewan, respirasi yang berlangsung adalah respirasi aerob, namun demikian dapat saja terjadi respirasi aerob terhambat karena sesuatu hal, maka hewan dan tumbuhan tersebut melaksanakan proses fermentasi yaitu proses pembebasan energi tanpa adanya oksigen, yang disebut respirasi anaerob.

Respirasi anaerob merupakan reaksi pemecahan karbohidrat untuk mendapatkan energi tanpa menggunakan oksigen. Perlu Anda ketahui sel jamur dan bakteri dapat melakukan respirasi anorganik. Demikian juga apabila kita melakukan kontraksi otot terlalu kuat misalnya berlari-lari, maka sel-sel jaringan otot kita juga melakukan respirasi anaerob. Pada keadaan oksigen yang tidak mencukupi untuk respirasi maka terjadi penimbunan asam laktat di dalam sel dan akan menimbulkan kelelahan. Proses penguraian pada respirasi anaerob disebut *fermentasi*.

Dari hasil akhir fermentasi, jenis fermentasi dibedakan menjadi fermentasi asam laktat/asam susu, dan fermentasi alkohol.

## 1) Fermentasi Asam Laktat

Jika dilihat dari namanya maka hasil akhir dari fermentasi adalah asam laktat atau asam susu. Kelelahan yang terjadi pada manusia karena bergerak melebihi kemampuan, sehingga terbentuk asam laktat sebagai akhir dari fermentasi pada tubuh.



Prosesnya :

a) Glukosa  $\xrightarrow[\text{enzim}]{} \text{asam piruvat (proses glikolisis)}$ .



b) Dehidrogenasi asam piruvat akan terbentuk asam laktat.



Energi yang terbentuk dari glikolisis akan menghasilkan asam piruvat, selanjutnya asam piruvat menjadi asam laktat:

$$8\text{ATP} - 2 \text{NADH}_2 = 8 - 2(3 \text{ATP}) = 2 \text{ATP}.$$

## 2) Fermentasi Alkohol

Pernahkah Anda makan “peuyem”? Peuyem adalah makanan khas dari daerah Jawa Barat. Makanan ini merupakan hasil fermentasi yaitu makanan dari singkong yang diberi ragi, melalui fermentasi alkohol.

Proses fermentasi ini dimulai dengan glikosis yang menghasilkan asam piruvat. Reaksi ini tidak ada oksigen, sehingga asam piruvat diubah menjadi asam laktat, yang mengakibatkan elektron tidak meneruskan perjalanannya sehingga tidak lagi menerima elektron dari NADH dan FAD. Berarti NADH yang diperlukan dalam siklus Krebs juga tidak terbentuk, akibatnya siklus Krebs terhenti. Tetapi NADH di luar mitokondria dapat dibentuk dari NADH melalui proses pembentukan asam laktat dari asam piruvat. Perlu Anda ketahui asam laktat adalah zat kimia yang merugikan karena bersifat racun.



## 2. Katabolisme Lemak dan Protein

Tahukah Anda bahwa sel-sel dalam tubuh mendapatkan energi bukan hanya dari karbohidrat, tetapi berasal juga dari protein dan lemak. Ingatlah kembali sumber dan fungsi dari protein, serta lemak! Protein dan lemak yang masuk dalam tubuh harus dipecah terlebih dahulu yang dibantu oleh suatu enzim untuk digunakan sel.

Protein melalui proses hidrolisis diubah menjadi asam amino. Beberapa asam amino dapat diubah menjadi asam piruvat dan asetil koenzim A setelah terlepasnya gugus amin dari asam amino yang dilepas, kemudian gugus amin tersebut akan dibawa ke hati dan akan dirombak menjadi amoniak ( $\text{NH}_3$ ) yang nantinya dibuang bersama dengan urin, 1 gram protein dapat menghasilkan energi yang setara dengan 1 gram karbohidrat.

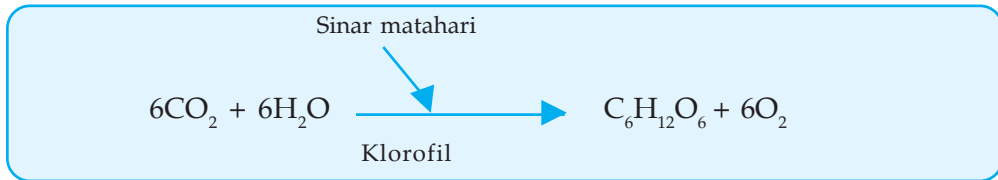
Tentu Anda masih ingat bahwa masuknya lemak ke dalam tubuh harus dipecah terlebih dahulu menjadi gliserol dan asam lemak. Gliserol tersebut merupakan suatu senyawa yang mempunyai 3 atom C adalah hasil pemecahan lemak kemudian diubah menjadi gliseraldehid 3-fosfat, selanjutnya gliseraldehid 3-fosfat mengikuti jalur glikolisis akan menjadi piruvat. Bagaimana dengan asam lemak? Asam lemak sendiri akan pecah menjadi molekul-molekul yang mempunyai 2 atom C, selanjutnya akan diubah lagi menjadi asetil koenzim A. Dengan demikian satu molekul glukosa akan menghasilkan 2 asetil koenzim A dan 1 molekul lemak yang mempunyai C sejumlah 18 dapat menghasilkan 10 asetil koenzim A, sehingga kita dapat mengetahui bahwa selama dalam proses katabolisme, energi yang dihasilkan lemak jauh lebih besar dibandingkan dengan energi yang dihasilkan karbohidrat. Perlu Anda ingat bahwa 1 gram karbohidrat dapat menghasilkan energi sebesar 4,1 kalori, sedangkan 1 gram lemak dapat menghasilkan energi sebesar 9 kalori.

### D ANABOLISME

Anabolisme merupakan reaksi proses penyusunan (*sisntesis*) senyawa kompleks dari senyawa sederhana yang berlangsung di dalam sel. Dalam proses penyusunan senyawa kimia tersebut diperlukan energi. Jika energi berasal dari sinar matahari akan digunakan untuk proses *fotosintesis* adapun jika energi berasal dari energi kimia digunakan untuk proses *kemosintesis*.

## 1. Fotosintesis

Ingatlah kembali fotosintesis! Persamaan reaksi fotosintesis dapat dituliskan kembali sebagai berikut:



Reaksi fotosintesis akan menghasilkan karbohidrat dan oksigen. Untuk mengetahui bahwa proses fotosintesis menghasilkan karbohidrat, lakukan Kegiatan Kelompok 2 berikut!

### KEGIATAN KELOMPOK 2

**Tujuan :** Mengetahui proses fotosintesis menghasilkan karbohidrat.

**Alat dan Bahan :**

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Daun tumbuhan hijau   | 6. Alkohol 94 %        |
| 2. Kertas aluminium foil | 7. Yodium              |
| 3. Gunting               | 8. Air                 |
| 4. Gelas                 | 9. Panci               |
| 5. Lem                   | 10. Kompor/pemanas air |

**Cara Kerja :**

1. Potonglah kertas ukuran panjangnya kira-kira bisa untuk membungkus daun tumbuhan yang dijadikan percobaan dan lebar 2 cm, kemudian lubangilah bagian tengahnya dengan diameter 0,5 cm.
2. Bungkuslah sebagian daun tumbuhan yang terkena sinar matahari langsung dengan kertas timah (dilakukan pada pagi hari).
3. Pada sore hari, petiklah daun itu.
4. Rebuslah air kemudian masukkan daun ke dalam air mendidih selama 2 menit dan angkatlah
5. Selanjutnya bukalah bungkus aluminium foil, kemudian masukkan daun itu ke dalam alkohol selama 5 menit kemudian angkat dan tiriskan.
6. Tetesilah permukaan daun dengan yodium sampai merata.
7. Amatilah perubahan warnanya, jika daun berwarna pucat berarti tidak terjadi proses fotosintesis sedangkan jika daun berwarna biru kehitaman berarti terjadi proses fotosintesis.

8. Buatlah kesimpulan dari kegiatan ini!
9. Diskusikan dengan kelompok Anda kemudian presentasikan di depan kelas!

Dari Kegiatan Kelompok 2 ini terlihat, bahwa proses fotosintesis yang terjadi di dalam daun dapat menghasilkan senyawa karbohidrat (*amilum*) dengan bantuan energi cahaya (*foton*). Sumber energi cahaya (*foton*) adalah matahari.

Tahukah Anda bahwa proses fotosintesis terjadi di dalam kloroplas? Kloroplas terdapat di dalam daging daun (*mesofil*) dan juga dapat ditemukan pada bagian-bagian lain seperti batang dan ranting yang berwarna hijau. Di dalam kloroplas terdapat pigmen berwarna hijau yang disebut *klorofil*. Pigmen inilah yang dapat menyerap energi spektrum cahaya matahari.

Susunan kloroplas terdiri atas membran ganda yang menyelubungi ruangan berisi cairan (*stroma*). Membran tersebut membentuk suatu sistem disebut membran *tilakoid* dan bentuknya seperti suatu bangunan kantung disebut *kantung tilakoid*. Kantung-kantung tilakoid itu dapat berbentuk berlapis-lapis disebut *grana*.

Karena letak klorofil berada pada membran tilakoid, maka proses perubahan energi cahaya (*foton*) menjadi energi kimia berlangsung dalam tilakoid, sedangkan proses fotosintesis dengan produk akhir glukosa dan senyawa lain berlangsung di dalam stroma.

Tahap apa saja yang ada dalam proses fotosintesis? Tahapan dalam proses fotosintesis merupakan rangkaian dari suatu proses penangkapan energi cahaya (*fotosistem*), aliran elektron dan penggunaannya. Klorofil hanyalah sebagian dari perangkat *fotosistem* untuk menangkap energi cahaya dalam proses fotosintesis.

#### a. Fotosistem

*Fotosistem* merupakan suatu unit yang terdiri atas klorofil a, kompleks antena dan akseptor elektron yang mampu menangkap energi cahaya (*foton*) matahari. Jika klorofil hanya menyerap cahaya merah, ungu, dan biru kemudian dipantulkan kembali maka terlihat warna hijau. Warna klorofil dapat berbeda-beda tergantung dari jenis klorofil dan cahaya yang terserap kemudian dipantulkan.

Ada dua macam klorofil, yaitu sebagai berikut.

- 1) Klorofil a, yaitu klorofil yang memiliki pigmen warna hijau, pigmen merupakan senyawa kimia yang dapat menyerap cahaya tampak.
- 2) Klorofil b, klorofil yang memiliki pigmen warna kuning sampai jingga disebut *karoten* memiliki struktur mirip dengan klorofil a.

Klorofil a dan pigmen-pigmen lain mengelompok di dalam tilakoid membentuk bangunan unit pigmen, klorofil a terletak di tengah bangunan yang disebut sebagai *pusat reaksi*. Klorofil a memperoleh energi cahaya dari akseptor elektron berasal dari sekelompok molekul pada perangkat pigmen yang dapat menangkap elektron cahaya berenergi tinggi disebut *antene*.

Cahaya yang terserap klorofil a merupakan cahaya yang berenergi tinggi, sehingga dapat menyebabkan terlemparnya elektron yang ada pada pigmen. Elektron yang terlempar keluar orbit berada dalam keadaan tidak stabil yang menyimpan energi tinggi disebut *terekstitasi*. Dalam keadaan demikian, klorofil berusaha mensuplai elektron dari molekul lain dan dalam waktu bersamaan  $H_2O$  terpecah menjadi  $2H^+$ ,  $OH^-$  dan elektron (fotolisis), elektron dari air ini diambil untuk menstabilkan keadaan klorofil kembali.

Pada klorofil a terdapat dua macam fotosistem, yaitu fotosistem I atau disebut P700 karena sensitif terhadap energi cahaya dengan panjang gelombang 700 nm dan fotosistem II atau disebut P680 yang sensitif terhadap energi cahaya dengan panjang gelombang 680 nm.

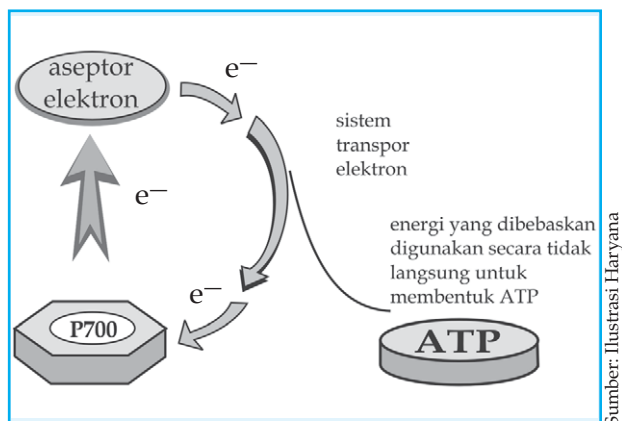
Proses penyerapan energi cahaya dapat mengakibatkan terlepasnya elektron berenergi tinggi dari klorofil a, selanjutnya disalurkan dan ditangkap oleh akseptor elektron, maka proses tersebut merupakan awal dari proses terjadinya proses fotosintesis. Proses berikutnya elektron masuk dalam aliran elektron, jika elektronnya berasal dari fotosistem I bersifat nonsiklus dan apabila elektronnya berasal dari fotosistem II bersifat siklus. Di mana letak perbedaan aliran elektron antara fotosistem I dengan fotosistem II?

## b. Aliran Elektron

Perjalanan yang ditempuh oleh elektron ada dua yaitu sebagai berikut.

### 1) Aliran Elektron Fotosistem I Bersifat Siklus

Cahaya berenergi tinggi yang terserap klorofil a dapat menyebabkan elektron ( $e^-$ ) berasal dari fotosistem I atau P700 terlempar keluar orbitnya. Pada saat perjalanan elektron ( $e^-$ ) berasal dari P700 yang terlempar keluar orbit tersebut lalu ditangkap oleh akseptor penerima elektron seperti plastokuinon atau sitokrom. Kemudian elektron itu pindah ke akseptor



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 2.10 Pembentukan ATP melalui fotofosforilasi siklik



lain, lalu pindah kembali ke klorofil P700 semula. Selama proses perpindahan dari akseptor satu ke akseptor lain terdapat energi yang terlepas dari elektron, energi tersebut digunakan dalam fotofosforilasi siklik dengan produk akhir berupa ATP, dan tidak dihasilkan NADPH serta  $O_2$ .

ATP digunakan sebagai energi yang dapat dimanfaatkan dalam proses biologis sel-sel organisme, seperti yang telah kita pelajari sebelumnya. Dalam hal ini ATP berguna dalam pembentukan karbohidrat. Perlu Anda ketahui sintesis ATP dalam kloroplas disebut sebagai *fotofosforilasi*.

Apa yang dimaksud fotofosforilasi? Fotofosforilasi adalah peristiwa bereaksinya senyawa ADP dan asam fosfat menjadi ATP, seperti berikut.



( $P_i$  adalah fosfat anorganik)

## 2) Aliran Elektron Fotosistem II Bersifat Nonsiklus

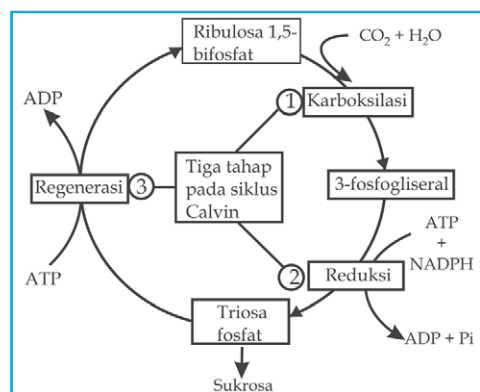
Perjalanan aliran elektron fotosistem II, elektronnya ( $e^-$ ) juga berasal dari P700. Elektron ( $e^-$ ) yang terlempar keluar orbit dan ditangkap oleh akseptor elektron yaitu  $NADPH_2$  kemudian elektron ( $e^-$ ) bersamaan dengan  $2H$  berasal dari pecahan  $H_2O$  mengikuti jalannya elektron siklik pindah ke akseptor lain seperti plastosianin atau feredoksin.

Selanjutnya elektron itu pindah dan tidak kembali ke klorofil P700, tetapi mengalir melalui membran tilakoid. Dengan pelepasan elektron tersebut, maka P700 menjadi molekul yang teroksidasi sehingga menyedot elektron dari P680 berenergi tinggi yang berasal dari energi cahaya (foton) matahari.

Molekul  $NADPH_2$  dan ATP yang berenergi tinggi digunakan untuk mengubah  $CO_2$  dan  $H_2O$  menjadi produk gula (seperti glukosa, maltosa, fruktosa dan amilum) dan  $O_2$ . Proses pembentukan gula (karbohidrat) dapat Anda lihat pada siklus Calvin.

### c. Siklus Calvin

Siklus Calvin terdiri atas dua tahap reaksi, yaitu reaksi terang akan menghasilkan produk akhir berupa ATP dan  $NADPH_2$  dan reaksi gelap akan menghasilkan gula (karbohidrat), kedua reaksi tersebut terjadi dalam kloroplas yang terdapat di dalam daging daun (mesofil). Tahapan reaksi siklus Calvin adalah karboksilasi, reduksi dan regenerasi sebagai berikut.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 2.11 Siklus Calvin

### 1) Karboksilasi (Fiksasi) CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> diikat (fiksasi) oleh senyawa rebulosa bifosfat (RuBP) yang memiliki atom C sebanyak 5 (C-5), karena hanya mengikat satu atom C (C-1) maka terbentuk senyawa RuBP dengan atom C sebanyak 6 (C-6) dalam keadaan yang tidak stabil dan pecah menjadi 2 senyawa gliseraldehid 3-fosfat (G3P).

### 2) Reduksi

Selanjutnya 2 senyawa gliseraldehid 3-fosfat (G3P) bereaksi dengan ATP, membentuk asam fosfogliseraldehid yang masih berikatan dengan H<sub>2</sub> berasal dari NADPH<sub>2</sub>. Siklus reaksinya harus berjalan 3 kali, baru terbentuk hasil akhir yaitu 6 senyawa gliseraldehid 3-fosfat (G3P).

### 3) Regenerasi

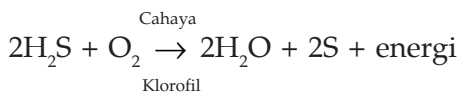
Regenerasi atau pembentukan kembali senyawa rebulosa bifosfat (RuBP) digunakan untuk mengikat CO<sub>2</sub>. Pembentukan kembali senyawa rebulosa bifosfat (RuBP) dan pecah menjadi 2 senyawa (G3P) bereaksi dengan ATP membentuk asam fosfogliseraldehid dan NADPH<sub>2</sub>. Siklus reaksinya berjalan 3 kali, dan kembali regenerasi lagi. Jadi untuk membentuk 1 molekul glukosa maka dibutuhkan sebanyak 6 kali siklus (*siklus Calvin*) dengan menangkap sebanyak 6 molekul 6CO<sub>2</sub>, reaksinya sebagai berikut.



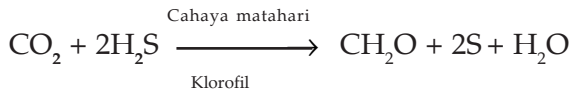
## 2. Kemosintesis

Sebagaimana telah Anda ketahui, bahwa sumber energi pada proses reaksi penyusunan (sintesis) molekul gula (karbohidrat) dari molekul CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang berlangsung di dalam sel makhluk hidup, adalah cahaya (foton) matahari, tetapi tidak semua makhluk hidup menggunakan cahaya sebagai sumber energinya. Contohnya pada beberapa mikroorganisme seperti bakteri belerang, bakteri nitrit, bakteri nitrat, dan bakteri besi memperoleh energi dengan cara mengoksidasi senyawa kimia. Jadi, jika pada proses penyusunan bahan organik yang menggunakan sumber energi dengan cara pengoksidasian (pemecahan) senyawa kimia disebut *kemosintesis*. Berikut pengoksidasian beberapa bakteri untuk memperoleh energi kimia.

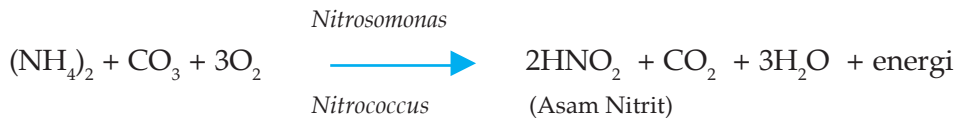
- a. Bakteri belerang, misalnya bakteri sulfur tak berwarna (*Thiobacillus*) memperoleh energi dengan cara mengoksidasi H<sub>2</sub>S, reaksinya:



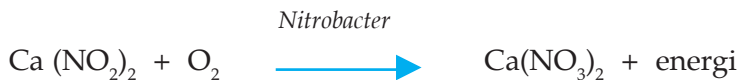
Selanjutnya energi tersebut digunakan untuk fiksasi  $\text{CO}_2$  menjadi gula (karbohidrat), reaksinya:



- b. Bakteri nitrit, misalnya bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrococcus* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi  $\text{NH}_3$  dalam bentuk senyawa amonium karbonat menjadi asam nitrit, reaksinya:



- c. Bakteri nitrat, misalnya bakteri *Nitrobacter* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi nitrit menjadi nitrat, reaksinya:



- d. Bakteri besi, misalnya *lipotrik* memperoleh energi dengan cara mengoksidasi ferro menjadi ferri, reaksinya:



## TUGAS INDIVIDU

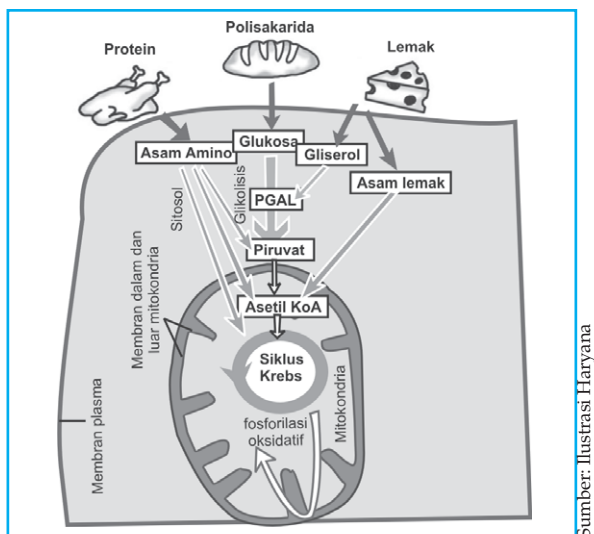
Setelah Anda memahami tentang proses katabolisme dan anabolisme, buatlah bagan rangkuman proses respirasi fotosintesis agar bisa memahami konsep tersebut lebih jelas. Presentasikan hasilnya di depan kelas!

## E HUBUNGAN ANTARA METABOLISME KARBOHIDRAT, LEMAK, DAN PROTEIN

Anda sudah mengetahui bahwa di dalam sel reaksi metabolisme tidak terpisah satu sama lain yaitu membentuk suatu jejaring yang saling berkaitan. Di dalam tubuh manusia terjadi metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak. Bagaimana keterkaitan ketiganya?

Perhatikan Gambar 2.11 di bawah ini!

Pada bagan terlihat karbohidrat, protein, dan lemak bertemu pada jalur siklus Krebs dengan masukan asetil koenzim A. Tahukah Anda bahwa Asetil Ko-A sebagai bahan baku dalam siklus Krebs untuk menghasilkan energi yang berasal dari katabolisme karbohidrat, protein, maupun lemak. Titik temu dari berbagai jalur metabolisme ini berguna untuk saling menggantikan “bahan bakar” di dalam sel. Hasil katabolisme karbohidrat, protein, dan lemak juga bermanfaat untuk menghasilkan senyawa-senyawa lain yaitu dapat membentuk ATP, hormon, komponen hemoglobin ataupun komponen sel lainnya.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 2.11 Hubungan antara metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein.

Lemak (asam heksanoat) lebih banyak mengandung hidrogen terikat dan merupakan senyawa karbon yang paling banyak tereduksi, sedangkan karbohidrat (glukosa) dan protein (asam glutamat) banyak mengandung oksigen dan lebih sedikit hidrogen terikat adalah senyawa yang lebih teroksidasi. Senyawa karbon yang tereduksi lebih banyak menyimpan energi dan apabila ada pembakaran sempurna akan membebaskan energi lebih banyak karena adanya pembebasan elektron yang lebih banyak. Jumlah elektron yang dibebaskan menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan.

Perlu Anda ketahui pada jalur katabolisme yang berbeda glukosa dan asam glutamat dapat menghasilkan jumlah ATP yang sama yaitu 36 ATP. Sedangkan katabolisme asam heksanoat dengan jumlah karbon yang sama dengan glukosa (6 karbon) menghasilkan 44 ATP, sehingga jumlah energi yang dihasilkan pada lemak lebih besar dibandingkan dengan yang dihasilkan pada karbohidrat dan protein. Sedangkan jumlah energi yang dihasilkan protein setara dengan jumlah yang dihasilkan karbohidrat dalam berat yang sama.

Dari penjelasan itu dapat disimpulkan jika kita makan dengan mengonsumsi makanan yang mengandung lemak akan lebih memberikan rasa kenyang jika dibandingkan dengan protein dan karbohidrat. Karena rasa kenyang tersebut disebabkan oleh kemampuan metabolisme lemak untuk menghasilkan energi yang lebih besar.

## **F** TEKNOLOGI YANG BERKAITAN DENGAN METABOLISME MAKANAN

Mengapa tubuh kita memerlukan makanan? Makanan dalam tubuh kita gunakan sebagai sumber energi. Perkembangan teknologi telah mempengaruhi proses pengolahan makanan. Berikut ini beberapa hasil teknologi yang menghasilkan produk-produk makanan.

### **1. Makanan Berkadar Gula Rendah**

Tubuh memerlukan makanan yang sehat. Saat ini banyak orang yang mengabaikan pola makanan sehat serta makan dengan porsi berlebihan. Makan berlebihan tanpa disertai dengan gerak dan olahraga yang cukup akan menimbulkan kelebihan berat badan. Makanan yang dikonsumsi orang saat ini umumnya berenergi tinggi yaitu makanan yang kaya lemak dan mengandung kadar gula tinggi. Akibatnya banyak sekali orang yang menderita penyakit *diabetes mellitus*. Untuk itulah kita dianjurkan menghindari makanan dan minuman yang berkadar gula tinggi. Makanan apa yang cocok untuk dikonsumsi? Makanan yang cocok adalah makanan yang berkadar gula rendah yaitu jenis makanan yang mengandung karbohidrat dan berserat tinggi dan tidak terlalu panas, misalnya ubi jalar, talas, biskuit berserat, sayur-sayuran, buah segar, kacang-kacangan, roti. Tahukah Anda bahwa makanan yang berserat tinggi akan cepat memberikan rasa kenyang, sehingga dapat mengurangi keinginan untuk makan. Makanan berserat tinggi menghasilkan jumlah kalor yang dibutuhkan tubuh, tetapi kadar gulanya rendah maka proses penyerapan di usus berlangsung lama.

Serat makanan merupakan unsur dari dinding sel tanaman yang tidak dapat dicerna oleh enzim-enzim saluran pencernaan. Perlu Anda ketahui serat makanan berdasarkan sifat kimianya dapat dikelompokkan menjadi dua.

- a. Kelompok serat yang tidak larut terdiri atas:
- 1) *lignin*, sumber dari wortel, gandum, buah arbei,
  - 2) *selulosa*, sumber pada gandum, kacang polong, root vegetables, buah-buahan yang berbiji,
  - 3) *hemiselulosa*, sumber pada bekatul, serelia.
- b. Kelompok serat yang larut misalnya apel, gandum (oatmeal), bekatul (oatbrand), rumput laut, kacang kedelai, kacang polong, jeruk, kacang hijau, kacang kapri, dan kacang tolo.

Orang dewasa dianjurkan untuk makan makanan yang berserat sebanyak 20–30 gram setiap hari, 6 gram di antaranya berasal dari serat larut.

### • TUGAS KELOMPOK

Carilah informasi mengenai jenis-jenis makanan yang mempunyai kadar gula rendah dari TV, majalah, internet, koran, dan sumber lain-lain. Kumpulkan informasi tentang komposisi makanan tersebut, keuntungannya dan bila perlu cara pembuatannya!

Berdiskusilah dengan teman Anda, tuliskan hasilnya di buku tugas Anda, kemudian presentasikan di depan kelas!

## 2. Teknologi Pengawetan Makanan

Saat ini banyak dikembangkan cara-cara baru untuk mengawetkan makanan. Teknologi pengawetan dan pengolahan makanan dikembangkan agar memperoleh kualitas yang baik. Berikut ini beberapa langkah dalam pengawetan makanan.

### a. Pengawetan secara Fisika

- 1) Pengeringan (*desikasi*), dengan cara mengurangi kandungan kadar air yang bertujuan agar bakteri tidak bisa hidup. Misalnya: makanan kismis, selai pisang.
- 2) Suhu tinggi, penggunaan suhu yang tinggi bertujuan untuk merusak enzim-enzim metabolisme sehingga bakteri tidak dapat aktif kembali. Misalnya pembuatan dodol.
- 3) Suhu rendah, dengan menggunakan suhu rendah pertumbuhan bakteri dapat terhambat, sehingga makanan akan awet. Misalnya telur, sayuran, daging dimasukkan dalam kulkas.

### **b. Pengawetan secara Kimia**

- 1) Pemanisan, dengan memberikan konsentrasi larutan gula yang lebih pekat sehingga bakteri akan mati. Misalnya manisan buah-buahan.
- 2) Pengasinan, dengan memberikan konsentrasi larutan garam yang lebih pekat sehingga bakteri menjadi mati. Misalnya pembuatan ikan asin.
- 3) Pengasaman (pH rendah), dengan penambahan asam organik yaitu asam laktat dan asam benzoat. Misalnya pembuatan asinan buah-buahan.
- 4) Fumigasi, dengan menggunakan gas *propilenoksida* dan *etinolaksida* yang menyebabkan mikroba akan mati karena oksidasinya sangat kuat.
- 5) Antibiotik, yang dapat menghambat pertumbuhan jamur dan bakteri misalnya *klortetrasiklin*, *hetrasiklin*, dan *oksitrasiklin*.

### **c. Pengawetan secara Biologi**

Pada saat ini teknik fermentasi sudah banyak digunakan dalam mengawetkan makanan, misalnya sosis dan miso.

### **d. Pengalengan**

Tahukah Anda pengalengan merupakan salah satu cara untuk mengawetkan makanan. Pengalengan merupakan gabungan pengawetan secara kimia yaitu diberi rasa asam manis, dan sebagainya, serta secara fisika sebab dilakukan pada kondisi hampa udara.

### **e. Pengawetan secara Radiasi**

Penggunaan sinar X, ultraviolet, dan gamma adalah salah satu cara untuk melakukan pengawetan secara radiasi. Sinar-sinar ini dapat membunuh mikroba karena terjadi ionisasi materi genetik bakteri dan menghambat pertumbuhan misalnya pengawetan buah-buahan, umbi-umbian, dan biji-bijian.

## RANGKUMAN

1. *Metabolisme* merupakan reaksi biokimia yang terjadi dalam sel hidup, meliputi katabolisme (reaksi penyusunan energi) dan anabolisme (reaksi pelepasan energi).
2. Pada reaksi metabolisme, terdapat komponen-komponen yang berperan penting sebagai penunjang terjadinya proses metabolisme, meliputi enzim, ATP, dan reaksi oksidasi atau *reaksi redoks*.
3. *Katabolisme* merupakan reaksi pemecahan atau penguraian senyawa ikatan kimia kompleks menjadi senyawa lebih sederhana yang secara umum dikenal dengan respirasi.
4. *Respirasi* merupakan proses pembebasan energi kimia melalui reaksi oksidasi pada molekul organik.
5. Jika respirasi terjadi dalam sel, maka ada tiga tahap yang harus dilalui, yaitu glikolisis, siklus Krebs, dan transpor elektron.
6. Apabila proses respirasi terjadi dalam lingkungan yang cukup oksigen disebut respirasi aerob, tetapi apabila respirasi terjadi tanpa oksigen disebut *respirasi anaerob*.
7. *Anabolisme* merupakan reaksi penyusunan senyawa kompleks dari senyawa sederhana yang berlangsung dalam sel. Energi yang digunakan dalam proses penyusunan itu berasal dari matahari, sering kita kenal dengan fotosintesis, sedangkan yang berasal dari energi kimia disebut *kemosintesis*.
8. Metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak saling berkaitan satu sama lain. Metabolisme lemak menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan karbohidrat dan protein.
9. Teknologi yang berkaitan dengan metabolisme makanan yaitu pola makanan yang berkadar gula rendah, teknologi pengawetan makanan dapat dilakukan secara fisika, kimia, biologi, pengalengan dan secara radiasi.



**I. Pilihlah jawaban yang paling benar!**

1. Seluruh reaksi yang terjadi di dalam sel makhluk hidup, dan terjadi secara reaksi kimia disebut ....
  - a. anabolisme
  - b. metabolisme
  - c. katabolisme
  - d. katalisator
  - e. fotosintesis
2. Sumber energi yang digunakan untuk berlangsungnya seluruh reaksi kimia yang terjadi di dalam sel makhluk hidup adalah ....
  - a. penyusunan zat makanan
  - b. penguraian zat makanan
  - c. sinar matahari
  - d. senyawa ATP
  - e. senyawa ADP
3. Pada proses fotosintesis, tumbuhan hijau mengambil oksigen yang ada dalam karbondioksida dari udara bebas, kemudian diubah menjadi ....
  - a.  $H_2O$
  - b. senyawa ATP
  - c. senyawa ADP
  - d. glikolisis
  - e. glukosa
4. Fermentasi merupakan suatu proses pemecahan molekul gula menjadi molekul yang lebih sederhana dengan menggunakan ....
  - a. enzim dan oksigen
  - b. enzim tanpa oksigen
  - c. enzim
  - d. oksigen
  - e. karbondioksida

5. Energi yang terkandung dalam glukosa merupakan energi ikatan kimia yang berasal dari transformasi energi sinar matahari. Proses transformasi energi dalam biologi dilakukan oleh ....
  - a. enzim
  - b. bakteri belerang
  - c. bakteri nitrat
  - d. mitokondria
  - e.  $H_2O$
6. Enzim adalah senyawa organik yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut, *kecuali* ....
  - a. diperlukan dalam jumlah yang tidak sedikit
  - b. hanya dapat mengkatalis suatu reaksi tertentu
  - c. hanya digunakan satu kali
  - d. hanya bekerja pada suhu yang terlalu panas atau dingin
  - e. ikut bereaksi dengan substratnya
7. Bagian bukan protein pada enzim yang berasal dari senyawa anorganik disebut ....
  - a. kofaktor
  - b. koenzim
  - c. apoenzim
  - d. akseptor
  - e. inhibitor
8. Komponen-komponen yang sangat berperan dalam proses metabolisme di dalam sel makhluk hidup adalah ....
  - a. asam piruvat
  - b. glikolisis
  - c. asam laktat
  - d. reaksi oksidasi-reduksi
  - e. transpor elektron
9. Pada respirasi terjadi proses pemakaian karbohidrat menjadi piruvat yang disebut ....
  - a. siklus Krebs
  - b. siklus Calvin
  - c. fermentasi
  - d. glikolisis
  - e. fiksasi

10. Pada tahap I reaksi glikolisis energi yang digunakan untuk mengubah glukosa menjadi asam piruvat sebesar ....
- 2 ATP
  - 2 ATP
  - 4 ATP
  - 4 ATP
  - 6 ATP

**II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan benar!**

1. Metabolisme merupakan suatu proses perubahan yang terjadi dalam sel makhluk hidup. Jelaskan perubahan-perubahan tersebut!
2. Transformasi energi biologis pada proses fotosintesis dapat dibedakan menjadi tiga. Sebut dan jelaskan!
3. Sebutkan komponen-komponen yang berperan dalam proses metabolisme!
4. Enzim merupakan senyawa organik atau katalis protein yang dihasilkan oleh sel yang berperan sebagai biokatalisator. Apakah yang dimaksud enzim?
5. Suatu senyawa organik dapat disebut sebagai enzim, bila memiliki ciri-ciri enzim. Sebutkan ciri-ciri tersebut!

## **UJI KOMPETENSI**

**Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Perhatikan orang yang duduk di bawah pohon pada Gambar 2.1 di depan! Orang tersebut dapat merasakan kesejukan dan kesegaran udara di sekitar. Mengapa udara di sekitar orang itu terasa segar? Jelaskan jawaban Anda disertai alasan yang tepat!
2. Suatu saat seorang pelayan restoran tidak sengaja memasukkan perasan air jeruk ke dalam air susu. Setelah itu, ternyata minuman itu menggumpal, kemudian ia menjadi heran. Mengapa air susu yang dicampur dengan air jeruk menjadi menggumpal? Beri penjelasan disertai alasan yang tepat!
3. Gambarkan siklus Krebs dan siklus Calvin! Apakah perbedaan antara kedua siklus tersebut? Jelaskan pendapat Anda disertai alasan yang tepat!

# BAB 3 MATERI GENETIKA

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari materi tentang genetika. Dengan mempelajari materi pada bab ini diharapkan Anda dapat mempelajari konsep dasar genetika dan mampu mengetahui penerapannya dalam kehidupan.



Sumber: Haryana, 2007

Gambar 3.1  
Seorang anak bersama orang tuanya

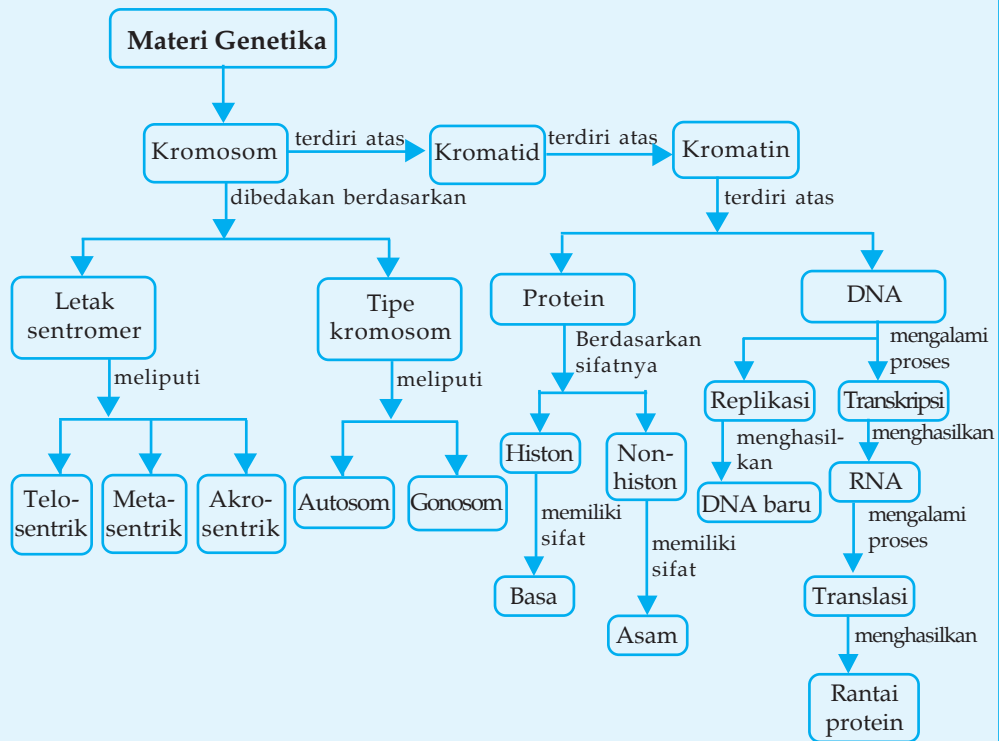
## Kata Kunci

- gen
- kromosom
- DNA
- RNA
- replikasi
- adenin
- timin
- guanin
- adenin

Cobalah Anda cermati sifat maupun ciri tubuh yang terdapat dalam keluarga Anda! Adakah persamaan ciri tubuh di antara anggota keluarga Anda? Dalam hal apa sajakah persamaan-persamaan yang ada itu? Biasanya dalam satu keluarga terdapat kemiripan atau ciri-ciri yang hampir sama. Kesamaan tersebut dapat terlihat misalnya pada bentuk rambut (keriting, lurus), warna kulit (kuning, cokelat), dan sebagainya.

Gambar 3.1 memperlihatkan adanya kemiripan ciri-ciri fisik yang hampir sama antara anak dan ayahnya. Coba Anda jelaskan, dari Gambar 3.1 tersebut, kesamaan apa saja yang terdapat pada keduanya?

## PETA KONSEP



Fakta-fakta yang terdapat pada Gambar 3.1 dapat saja terjadi pada keluarga-keluarga yang lain. Coba Anda pikirkan, mengapa dapat terjadi demikian? Fakta ini menunjukkan peran gen di dalam pewarisan sifat kepada keturunannya. Apakah gen itu? Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang gen, DNA, dan kromosom sebagai materi genetik yang berperan dalam pewarisan sifat-sifat.

Dari penjelasan di depan Anda sudah mendapatkan gambaran tentang fungsi materi genetik. Di manakah letak materi genetik tersebut? Untuk menjawab pertanyaan ini, coba Anda ingat kembali pelajaran Kelas XI bab 1 tentang sel.

Materi genetika berupa gen, DNA, dan kromosom. Materi genetika tersebut terdapat di berbagai sel di seluruh tubuh, misalnya pada sel-sel darah, sel tulang, sel gamet dan lain-lain, tepatnya materi genetika tersebut berada di dalam nukleus. Peranan materi genetika tersebut adalah untuk mengatur pewarisan sifat kepada keturunannya, misalnya mengatur bentuk rambut, warna kulit, susunan darah, dan lain-lain seperti yang telah dijelaskan pada fakta di depan. Pelajari uraian materi berikut untuk memahami tentang materi genetika dengan baik!

### • TUGAS KELOMPOK

Manusia Indonesia sangat beragam, ada yang berkulit hitam misalnya orang-orang suku Dani dan ada yang berkulit putih misalnya suku Dayak.

Diskusikanlah fenomena yang lain (rambut, bentuk tubuh, dan lain-lain) yang mencerminkan peran gen dalam mempengaruhi sifat yang tampak pada individu!

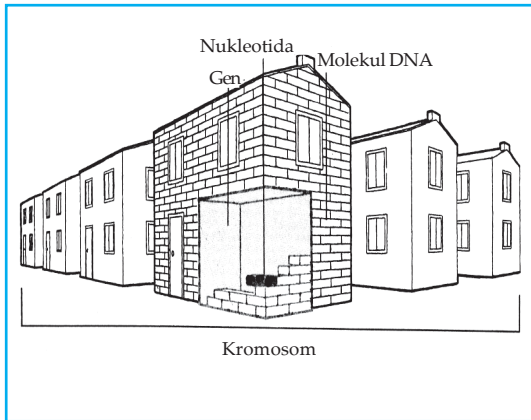
Tulislah hasilnya di buku tugas dan presentasikan di depan kelas!

## A KROMOSOM

Perhatikan Gambar 3.2! Kota dalam Gambar 3.2 mengibaratkan struktur suatu kromosom, yang terdapat pada bagian inti sel yang membawa petunjuk bagi setiap fase kehidupan sel. Setiap rumah melambangkan sebuah molekul DNA, yakni bahan kebakaan. Kamarnya adalah gen, yaitu anak bagian molekul yang menduduki tempat-tempat khusus dalam molekul DNA. Batu batanya adalah nukleotida, yakni “bahan bangunan” molekul.

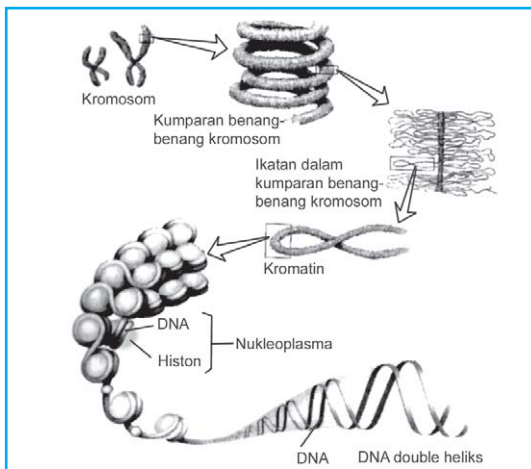
Kromosom pertama kali dikemukakan oleh **W. Waldenger** dan diartikan sebagai *chroma* yang berarti warna dan *soma* yang berarti badan. Dari asal katanya tersebut kromosom dapat diartikan sebagai badan-badan halus

Sumber : Ilmu Pengetahuan Populer, 1984



Gambar 3.2  
Bangunan yang diibaratkan kromosom, DNA, gen,  
dan nukleotida.

Sumber : Biologi. Reaven Johnson, 2003



Gambar 3.3  
Bagian-bagian penyusun kromosom

yang berbentuk batang panjang atau pendek, lurus atau bengkok yang mudah menyerap zat warna.

Di dalam tubuh makhluk hidup di mana letak kromosom itu? Kromosom terdapat di dalam inti sel. Kromosom pada makhluk hidup berukuran panjang 0,2–50 mikron dan diameter 0,2–20 mikron. Pada manusia ukuran kromosom kurang lebih 6 mikron.

Kromosom berfungsi membawa sifat individu dan membawa informasi genetika, karena di dalam kromosom mengandung gen. Gen-gen pada kromosom terdapat pada tempatnya yang disebut dengan *lokus*. Gen merupakan bagian dari molekul DNA. Seperti yang sudah dijelaskan dengan suatu perumpamaan di atas. Agar lebih jelas memahami tentang hubungan dari masing-masing bagian penyusun kromosom lihat Gambar 3.3!

Kromosom dapat diamati dengan menggunakan alat bantu mikroskop pada waktu sel membelah, yaitu berupa kromatin. Pada saat sel membelah kromatin dapat menebal dan memendek.

## 1. Susunan Kromosom

Kromosom pada organisme prokariotik ada yang berupa RNA saja. Ini dapat dijumpai pada virus mozaik (tembakau). Kromosom dapat pula berupa DNA saja misalnya pada virus T dan dapat pula mengandung keduanya yaitu DNA dan RNA seperti pada bakteri *Escherichia coli*.

Kromosom pada organisme eukariotik tersusun dari bagian-bagian berikut.

a. DNA

DNA menyusun kromosom sekitar 35% dari keseluruhan kromosom.

b. RNA

RNA menyusun kromosom sekitar 5% dari keseluruhan kromosom.

c. Protein

Protein ini terdiri atas histon yang bersifat basa dan nonhiston yang bersifat asam. Kedua macam protein ini berfungsi untuk menggulung benang kromosom sehingga menjadi pudar dan berperan sebagai enzim pengganda DNA dan pengkopi DNA.

## 2. Struktur Kromosom

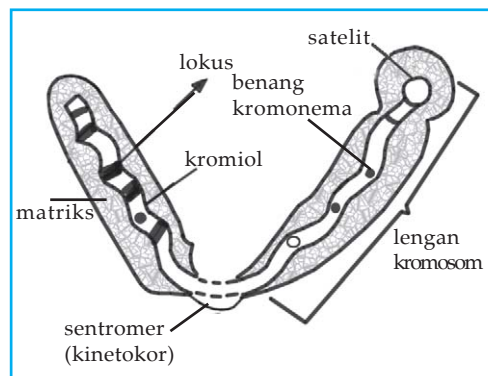
Kromosom memiliki struktur sebagai berikut.

a. Sentromer

Sentromer merupakan bagian kepala kromosom berbentuk bulat yang merupakan pusat kromosom dan membagi kromosom menjadi dua lengan. Bagian ini merupakan daerah penyempitan pertama pada kromosom yang khusus dan tetap. Daerah ini disebut juga *kinetokor* atau tempat melekatnya benang-benang gelendong (*spindle fiber*). Elemen-elemen ini berfungsi untuk menggerakkan kromosom selama mitosis atau sebagian dari mitosis. Pembelahan sentromer ini akan memulai gerakan kromatid pada masa anafase.

b. Lengan

Bagian lengan ini merupakan bagian badan utama kromosom yang mengandung kromosom dan gen. Umumnya jumlah lengan pada kromosom dua, tetapi ada juga beberapa yang hanya berjumlah satu. Lengan dibungkus oleh selaput tipis dan di dalamnya terdapat matriks yang berisi cairan bening yang mengisi seluruh bagian lengan. Cairan ini mengandung benang-benang halus berpilin yang disebut *kromonema*.



Sumber : Ilustrasi Haryana

Gambar 3.4  
Struktur kromosom



Bagian kromonema yang mengalami pembelahan disebut *kromomer* yang berfungsi untuk membawa sifat keturunan sehingga disebut sebagai lokus gen. Pada bagian ujung kromosom terdapat suatu tambahan yang disebut satelit.

Agar lebih jelas mengetahui struktur kromosom dapat Anda lihat Gambar 3.4!

### 3. Pembagian Kromosom

Berdasarkan letak sentromernya, kromosom dibagi menjadi empat, yaitu sebagai berikut.

#### a. Telosentrik

Telosentrik ini memiliki ciri-ciri yaitu memiliki lengan hanya satu, memiliki bentuk seperti batang, dan letak sentromernya berada di ujung.

#### b. Metasentrik

Metasentrik ini memiliki ciri-ciri yaitu mempunyai dua lengan yang sama panjang, dan letak sentromer berada di tengah memiliki bentuk seperti huruf V.

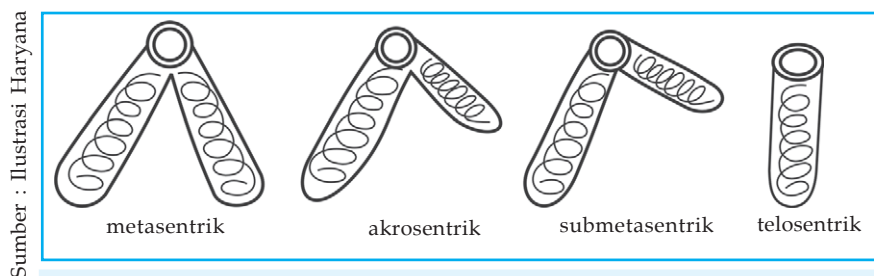
#### c. Akrosentrik

Akrosentrik memiliki ciri-ciri yaitu mempunyai dua lengan yang tidak sama panjang, letak sentromernya dekat ujung, dan memiliki bentuk seperti huruf J.

#### d. Submetasentrik

Kedua lengan hampir sama panjang, letak sentromer hampir di tengah, memiliki bentuk seperti huruf L.

Untuk memperjelas keempat struktur di atas dapat dilihat Gambar 3.5.



Gambar 3.5  
Macam-macam kromosom menurut letak sentromernya

Berdasarkan tipenya, kromosom dibagi menjadi dua.

#### a. Autosom (Kromosom Tubuh)

Autosom adalah kromosom tubuh dan tidak menentukan jenis kelamin. Autosom ini mempunyai bentuk pasangan antara jantan dan betina, dan memiliki jumlah  $n - 1$  atau  $2n - 2$  dengan sifatnya diploid. Autosom biasanya disimbolkan dengan A.

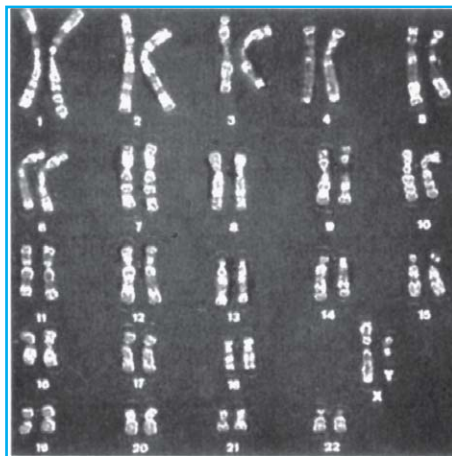
#### b. Gonosom (Kromosom Seks)

Gonosom adalah kromosom seks yang dapat menentukan jenis kelamin. Gonosom ini mempunyai bentuk pasangan tidak sama antara jantan dan betina, berjumlah satu pasang dan bersifat haploid.

### 4. Ukuran dan Jumlah Kromosom

Ukuran dan jumlah kromosom sangat bervariasi dari berbagai spesies. Sel tubuh kromosom selalu berada dalam keadaan berpasang-pasangan. Kromosom yang berpasangan dengan memiliki bentuk, ukuran dan komposisi sama disebut *kromosom homolog*. Hal ini dapat dijumpai pada sel tubuh lalat buah yang memiliki 4 macam kromosom homolog, sedangkan manusia mempunyai 23 macam kromosom homolog. Kromosom manusia dapat Anda lihat pada Gambar 3.6.

Sumber: Modern Biology, 1987



Gambar 3.6  
Kromosom pada manusia

Perangkat kromosom disebut genom, pada sel tubuh terdapat sepasang kromosom yang disebut diploid ( $2n$ ), sedangkan pada sel gamet hanya terdapat satu pasang kromosom saja yang disebut dengan haploid ( $n$ ). Seseorang

yang mengalami penyakit kanker maka set kromosomnya lebih dari dua, kemungkinan terjadi triploid, tetraploid, dan poliploid. Organisme yang memiliki jumlah kromosom diploid ( $2n$ ) antara lain dapat dilihat pada Tabel 3.1!

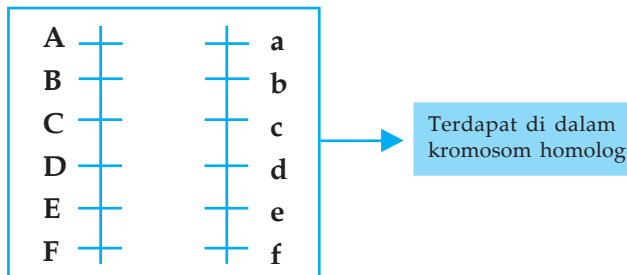
**Tabel 3.1 Organisme Diploid**

No		Kromosom	No		Kromosom
1	Manusia	46	23	<i>Hydra</i>	32
2	Simpanse	48	24	Cemara	24
3	Kera	48	25	Ceri	32
4	Kuda	64	26	Kubis	18
5	Lembu/sapi	60	27	Lobak	18
6	Keledai	62	28	Kacang polong	14
7	Anjing	78	29	Buncis	22
8	Kucing	38	30	Ketimun	14
9	Tikus rumah	40	31	Kapas	52
10	Tikus sawah	42	32	Kentang	48
11	Merpati	80	33	Tomat	24
12	Ayam	78	34	Tembakau	48
13	Kalkun	82	35	Gandum dipakai	42
14	Katak	26		untuk membuat roti	
15	Ikan mas	94	36	Gandum dipakai	14
16	Binatang laut	36		untuk membuat air	
17	Ulat sutera	56	37	Barley	20
18	Lalat rumah	12	38	Jagung	24
19	<i>Drosophila melanogaster</i>	8	39	Beras	16
			40	Bawang	34
20	Nyamuk	6	41	Ragi	4
21	Kecoa	23,24	42	Jamur	2
22	Cacing tanah	36		Kapang <i>Penicillium</i>	

## B GEN

Pada fakta di depan (Gambar 3.1) telah ditampilkan gambar seorang anak dengan ayahnya. Jika diamati ada sifat-sifat yang hampir sama bukan? Dalam pewarisan sifat tersebut, siapakah yang sebenarnya membawa dan bertugas menyampaikan informasi genetik? Dia adalah gen. Jadi, *gen* adalah suatu unit terkecil dari bahan sifat-sifat menurun dengan ukuran 4-50 mikron.

Pada tahun 1902, **Boveri** dan **W. S. Sutton** membuktikan bahwa gen adalah bagian dari kromosom yang terletak berderet-deret secara teratur pada kromosom. Gen terletak di dalam kromosom, yaitu di suatu tempat yang disebut dengan *lokus*. Lokus-lokus ini digambarkan sebagai garis-garis pendek yang horizontal di sepanjang kromosom yang digambarkan sebagai garis panjang vertikal seperti terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7  
Bentuk lokus

Jika Anda perhatikan, masing-masing lokus ditempati oleh jajaran huruf atau abjad. Huruf-huruf tersebut merupakan simbol dari gen.

Gen-gen tersebut terlihat berjajar dari atas ke bawah sepanjang garis vertikal, yang merupakan simbol dari kromosom. Huruf abjad ada yang ditulis dengan huruf besar dan kecil. Huruf besar menunjukkan sifat yang dominan dari gen, sedangkan huruf kecil menunjukkan sifat yang resesif dari gen. Gen-gen yang menampakkan senyawa kimia sebagai substansi hereditas mempunyai sifat-sifat sebagai berikut.

1. Sebagai zarah tersendiri yang terdapat dalam kromosom.
2. Mengandung informasi genetik.
3. Dapat menduplikasi diri saat terjadi pembelahan sel.
4. Mempunyai tugas khusus sesuai fungsinya.
5. Kerjanya ditentukan oleh susunan kombinasi basa nitrogennya.

Gen merupakan substansi hereditas yang memiliki fungsi seperti berikut.

1. Menyampaikan informasi genetika dari generasi ke generasi.
2. Mengontrol dan mengatur metabolisme dan perkembangan tubuh.  
Proses reaksi kimia dalam tubuh dapat terjadi secara berurutan. Pada setiap tahap reaksinya diperlukan enzim. Pembentukan dan pengontrolan kerja enzim tersebut dilakukan oleh gen. Pada proses perkembangan yang memerlukan hormon juga diatur oleh gen.
3. Menentukan sifat-sifat pada keturunannya. Seperti dicontohkan pada fakta di depan. Sifat-sifat tersebut dapat berupa warna kulit, bentuk rambut, bentuk badan, dan lain-lain.

Dalam penampakan luarnya, gen bekerja dengan dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut.

## 1. Gen yang Dipengaruhi Jenis Kelamin

Gen ini disebut dengan *Sex Influenced Gene*, merupakan gen dominan yang biasanya memperlihatkan pengaruh sama pada semua jenis, tetapi ada gen-gen tertentu yang dipengaruhi oleh jenis kelamin.

Misalnya:

- a. Gen kepala botak

Genotipe	Fenotipe	
	Pria	Wanita
BB	Botak	Botak
Bb	Botak	Tidak botak
bb	Tidak botak	Tidak botak

- b. Gen jari telunjuk

Genotipe	Fenotipe	
	Pria	Wanita
PP	Telunjuk panjang	Telunjuk panjang
Pp	Telunjuk pendek	Telunjuk panjang
pp	Telunjuk pendek	Telunjuk pendek

## 2. Gen yang Pengaruhnya Terbatas Pada Jenis Kelamin Tertentu

Gen ini disebut *Sex Limited Gene*, merupakan gen yang hanya tampak pada jenis kelamin tertentu saja.

Misalnya:

- Gen pengatur pertumbuhan payudara.  
Hal ini hanya tampak pada jenis kelamin wanita.
- Gen pengatur ukuran dan bentuk penis.  
Hal ini hanya tampak pada jenis kelamin pria.
- Gen pengatur sifat kelamin sekunder.  
Hal ini hanya tampak pada jenis kelamin tertentu. Sifat kelamin sekunder pada pria, antara lain adanya kumis, jakun, suara besar. Sedangkan sifat kelamin sekunder pada wanita antara lain kulit halus, pinggul besar, dan suara tinggi.

## C ALEL DAN ALEL GANDA

Anda sudah mengetahui bahwa gen sebagai pembawa dan penentu suatu sifat atau karakter. Gen dalam tubuh yang terletak pada kromosom tidak hanya satu, tetapi banyak.

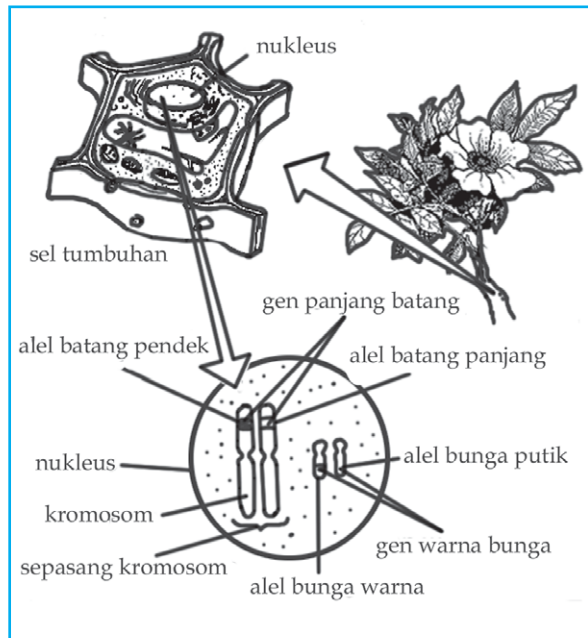
*Alel* adalah gen-gen yang menempati atau terletak pada lokus yang sama pada kromosom homolognya yang mempunyai tugas berlawanan untuk suatu sifat tertentu. Agar lebih jelas, cobalah Anda lihat Gambar 3.8 di samping ini!

Surya (1984) mendefinisikan alel sebagai anggota dari sepasang gen yang memiliki pengaruh berlawanan. Misalnya gen B memiliki peran untuk menumbuhkan karakter pigmentasi kulit secara normal. Gen B dapat membentuk melanin karena diekspresikan sepenuhnya pada penampakan fisik organisme. Dalam hal ini gen B menimbulkan karakter yang dominan. Apabila gen B bermutasi maka akan berubah menjadi b, sehingga pigmentasi kulit secara normal, tidak dapat dilakukan. Gen b menimbulkan karakter yang berbeda, yaitu resesif. Karakter resesif ini menumbuhkan karakter albinisme (tidak terbentuk melanin).

Contoh yang lainnya, misalnya:

1. K alelnya k, untuk rambut keriting dan lurus.
2. H alelnya h, untuk kulit hitam dan putih dan sebagainya.

Sedangkan alel ganda (*multiple alelo murphi*) adalah beberapa alel lebih dari satu gen yang menempati lokus sama pada kromosom homolognya. Pengaruh alel ganda pada organisme dapat ditemukan pada tempat-tempat berikut.



Gambar 3.8 Letak gen dan alel pada kromosom

Sumber : Ilustrasi Haryana

## 1. Golongan Darah pada Manusia

Golongan Darah	Alel	Genotipe
A	$I^A$	$I^A I^A$ dan $I^A I^O$
B	$I^B$	$I^B I^B$ dan $I^B I^O$
AB	$I^A, I^B$	$I^A I^B$
O	$I^O$	$I^O I^O$

## 2. Rambut pada Segmen Digitalis Jari Tangan Manusia

Genotipe	Fenotipe
$H^1$	Rambut pada semua/empat jari-jari
$H^2$	Rambut pada jari kelingking, manis, dan tengah
$H^3$	Rambut pada jari manis dan tengah
$H^4$	Rambut pada jari manis
$H^5$	Rambut tidak ada pada semua jari

## 3. Warna Bulu Kelinci

Warna bulu kelinci dipengaruhi oleh empat alel yaitu  $W$ ,  $W^{ch}$ ,  $W^h$ ,  $w$  yang keempatnya berada pada lokus yang sama, di mana:

Alel :  $W$  : warna bulu normal (hitam)

$W^{ch}$  : warna bulu normal Chinchilia (kelabu)

$W^h$  : warna bulu Himalaya (coklat)

$w$  : warna bulu albino (putih)

Genotipe	Fenotipe
Hitam (normal)	$WW, WW^{ch}, WW^h, Ww$
Kelabu (Chinchilia)	$W^{ch}W^{ch}, W^{ch}W^h, W^{ch}w$
Coklat (Himalaya)	$W^hW^h, W^hW^{ch}, W^hw$
Putih (Albino)	$ww$

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan urutan dominasinya adalah:  $W > W^{ch} > W^h > w$ .

## D DNA

Apabila kita ibaratkan suatu tubuh, maka DNA diibaratkan sebagai otak yang dapat mengatur segala proses di dalam tubuh. Di samping itu, DNA juga mempunyai peran penting dalam pewarisan sifat.

DNA merupakan suatu senyawa kimia yang penting pada makhluk hidup. Tugas utamanya membawa materi genetik dari suatu generasi ke generasi berikutnya. DNA juga merupakan senyawa polinukleotida yang membawa sifat-sifat keturunan yang khas pada kromosom.

DNA pertama kali ditemukan oleh **F. Miescher** (1869) dari sel spermatozoa dan sel eritrosit burung, selanjutnya dinamakan sebagai *nuklein*. Penemuan lain dilakukan oleh **Fischer** (1880), yaitu tentang adanya zat pirimidin (yang berupa Sitosin dan Timin) dan dua purin (Adenin dan guanin). Setelah penemuan tersebut, dilengkapi pula dengan penemuan **Levine** (1910) tentang gula 5 karbon ribosa, gula deoksiribosa, dan asam fosfat dalam inti. Keberadaan DNA tersebut sebagian besar di dalam nukleus (inti sel). Tetapi ada juga yang terdapat pada mitokondria.

Untuk lebih memahami struktur DNA tersebut, lakukan kegiatan berikut ini!

### KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan** : Siswa dapat menyusun model DNA

**Alat dan bahan** :

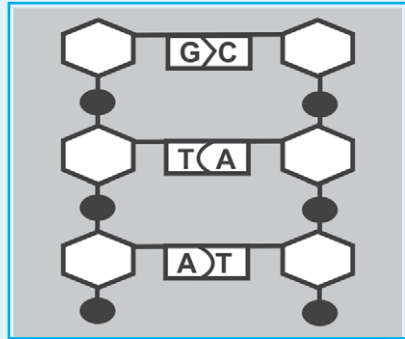
1. Kertas berwarna (6 warna yang berbeda)
2. Spidol
3. Gunting
4. Lem
5. Tusuk gigi

**Cara Kerja** :

1. Potong-potonglah kertas yang telah disediakan dengan ukuran 2 cm x 2 cm.
2. Tentukanlah warna kertas untuk masing-masing basa nitrogen.  
Adenin (A) : kertas biru  
Timin (T) : kertas merah  
Guanin (G) : kertas hijau  
Sitosin : kertas kuning
3. Tentukan pula warna kertas untuk masing-masing gula ribosa dan fosfat.  
Gula ribosa : kertas hitam  
Fosfat : kertas putih



4. Untuk menghubungkan antara molekul satu dengan yang lain, gunakanlah tusuk gigi.
5. Susunlah struktur DNA seperti pada gambar berikut!



6. Pada model yang Anda buat, susunlah basa nitrogen sebelah kiri dengan urutan ke bawah seperti berikut ini!  
 A  
 A  
 T  
 C  
 G  
 C  
 A  
 C  
 T  
 T
7. Lengkapilah basa nitrogen sebelah kanan!  
 Kerjakan di buku tugas Anda!

## 1. Struktur DNA

Molekul DNA memiliki susunan kimia yang sangat kompleks dan rantai nukleotida yang panjang. DNA merupakan rangkaian nukleotida dan setiap nukleotida tersusun dari substansi dasar seperti berikut.

### a. Senyawa Fosfat

Senyawa fosfat berfungsi untuk mengikat molekul gula satu dengan gula yang lain.

### b. Gula Pentosa (deoksiribosa)

Gula pentosa membentuk rangkaian gula fosfat yang merupakan tulang punggung atau kekuatan dari struktur *double helix* DNA.

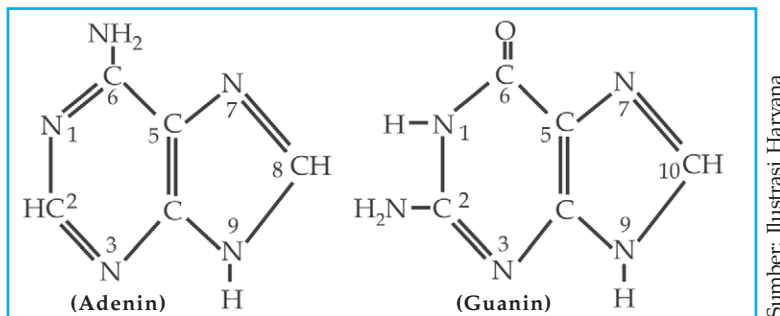
### c. Basa nitrogen

Basa nitrogen ini terikat pada setiap molekul gula.

Basa nitrogen dibedakan menjadi dua.

#### 1) Basa Purin

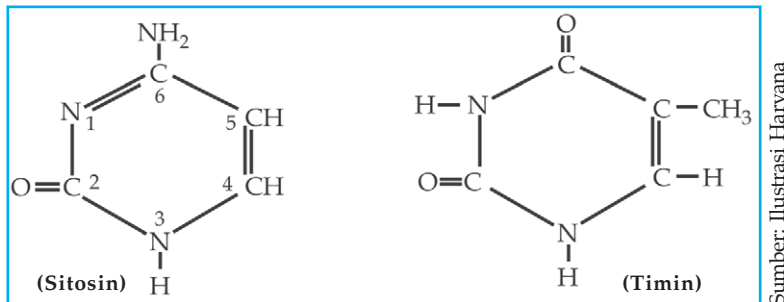
Basa purin dengan struktur cincin ganda yaitu Adenin (A) dan Guanin (G) seperti terlihat pada Gambar 3.9!



Gambar 3.9  
Rumus bangun purin

#### 2) Basa pirimidin

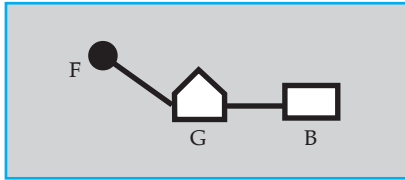
Basa pirimidin dengan struktur cincin tunggal yaitu Timin (T) dan Sitosin (S) seperti terlihat pada Gambar 3.10!



Gambar 3.10  
Rumus bangun pirimidin

Basa nitrogen yang terdiri atas purin (Adenin dan Guanin) dan pirimidin (Sitosin dan Timin) akan membentuk rangkaian senyawa kimia dengan gula pentosa, membentuk *nukleosida*. Nukleosida bersenyawa dengan gugus fosfat membentuk *nukleotida*, yang mempunyai bentuk rantai panjang. Untuk lebih jelasnya, lihatlah gambar 3.11.

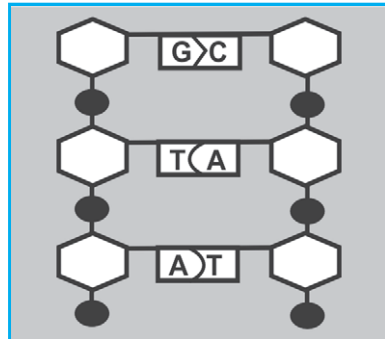
Sumber : Ilustrasi Haryana



Gambar 3.11  
Nukleotida

Nukleotida inilah yang akan menyusun molekul DNA. Satu molekul DNA terdiri atas ratusan atau ribuan nukleotida. Nukleotida-nukleotida tersebut membentuk rantai panjang yang disebut *polinukleotida*. Antara rantai polinukleotida satu dengan yang lainnya saling berhubungan pada bagian basa nitrogen.

Sumber : Ilustrasi Haryana



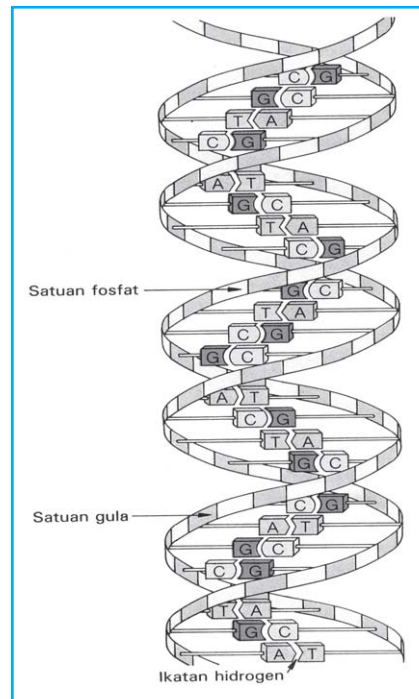
Gambar 3.12  
Struktur DNA

Coba Anda bayangkan, molekul DNA yang mikroskopis selalu membawa ribuan nukleotida. Hal ini merupakan struktur yang sangat rumit sekali. Agar lebih jelas dengan struktur DNA, dapat Anda lihat pada Gambar 3.12!

Jika diamati, bentuk struktur dari molekul DNA tersebut, sebenarnya merupakan struktur DNA *double helix* (tangga tali berpilin), seperti terlihat pada Gambar 3.13!

Model struktur DNA tersebut ditemukan oleh James Watson dan Francis Crick pada tahun 1953. Model struktur DNA ini kemudian disebut dengan model DNA **Watson-Crick** (lihat Gambar 3.13).

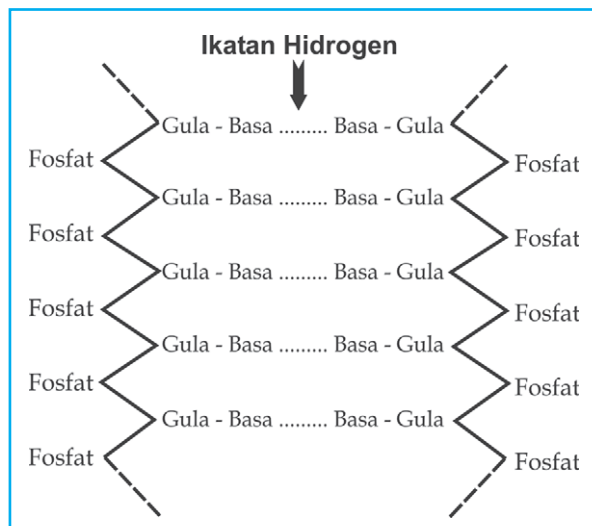
Coba Anda perhatikan bentuk tangga tersebut! Bagian ibu tangga tersusun dari deretan gugusan gula pentosa dan asam fosfat, sedangkan bagian anak tangga tersusun dari dua basa nitrogen yang berpasangan antara purin dengan pirimidin, dengan pasangan yang mungkin terjadi yaitu Adenin dengan Timin, sedangkan Guanin dengan Sitosin. Antara dua basa nitrogen yang berpasangan yaitu antara Adenin dengan Timin, antara Guanin dengan Sitosin dihubungkan oleh ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen merupakan jenis



Sumber : Ilmu Pengetahuan Populer, Widyadara, 1996

Gambar 3.13  
Struktur *double helix*

ikatan yang lemah, tetapi karena hal inilah justru akan membantu dalam proses pembelahan dan sintesis protein. Ikatan hidrogen itu dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14  
Diagram ikatan hidrogen

## 2. Fungsi DNA

Dari materi yang sudah disampaikan dapat diketahui bahwa DNA merupakan struktur yang sangat kompleks yang tersusun dari polinukleotida. Fungsi atau peranan DNA ini sebenarnya tidak sekadar sebagai pembawa materi genetik, melainkan juga menjalankan fungsi yang sangat kompleks pula, antara lain:

- Sebagai pembawa materi genetika dari generasi ke generasi berikutnya.
- Mengontrol aktivitas hidup secara langsung maupun tidak langsung.
- Melakukan sintesis protein.
- Sebagai autokatalis, yaitu kemampuan DNA untuk menggandakan diri (*replikasi*).
- Sebagai heterokatalis, yaitu kemampuan DNA untuk dapat mensintesis senyawa lain.

## 3. Replikasi DNA

*Replikasi* adalah kemampuan DNA untuk dapat menggandakan diri. Proses-proses yang terjadi saat terjadinya replikasi adalah sebagai berikut.

- Ikatan hidrogen membuka sehingga kedua pita akan memisah.
- Pita saling memisah. Basa nitrogen pada masing-masing pita berfungsi sebagai cetakan yang mengatur pengikatan basa komplementer (basa pelengkap) pada pita baru yang dibentuk.

- c. Masing-masing pita lama membentuk pita baru, sehingga menghasilkan dua pita *double helix*.

Proses yang terjadi tersebut dipengaruhi oleh enzim helikase, enzim polimerase, dan ligase.

Replikasi DNA dapat terjadi melalui tiga kemungkinan:

- a. Konservatif

Replikasi konservatif ini melalui cara, yaitu pita *double heliks* DNA induk tetap tidak berubah, kemudian digunakan untuk mencetak dua pita *double heliks* DNA yang baru.

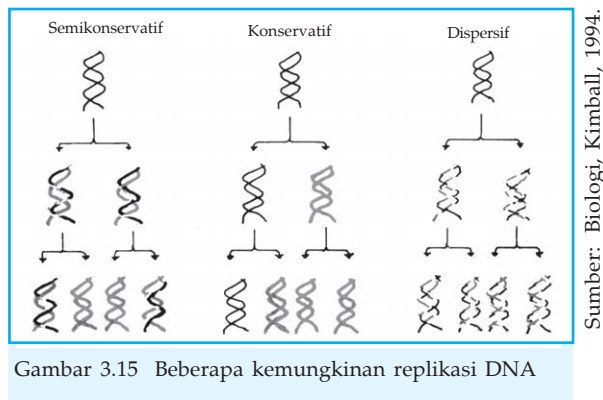
- b. Semikonservatif

Replikasi semikonservatif ini melalui cara, yaitu pita *double heliks* DNA induk terpisah, kemudian mensintesis pita DNA yang baru dengan cara melengkapi (komplementasi) pada masing-masing pita DNA induk tersebut.

- c. Dispersif

Dispersif ini melalui cara, yaitu kedua pita *double heliks* induk terputus membentuk segmen-segmen pita DNA yang baru, kemudian segmen pita DNA induk akan disambung dengan segmen pita DNA baru. Sehingga pada peristiwa ini hasil akhirnya adalah segmen pita DNA induk dengan segmen pita DNA yang baru yang tersebar pada pita *double heliks* DNA yang terbentuk.

Agar lebih jelas tentang ketiga kemungkinan di atas, dapat dilihat Gambar 3.15.



## TUGAS INDIVIDU

Pada dunia kedokteran pembuatan hormon insulin dapat dilakukan dengan rekayasa genetika. Rekayasa genetika dalam hal ini, yaitu dengan membuat DNA Rekombinan.

Buatlah suatu karangan ilmiah yang membahas tentang hal ini. Carilah literatur dari buku atau sumber-sumber lain yang mendukung, bisa pula dari internet.

## E RNA

Bahan genetik, selain DNA adalah RNA. Di dalam inti sel makhluk hidup, baik sel prokariotik maupun sel eukariotik terdapat asam nukleat yang berupa DNA dan RNA. Tetapi beberapa virus tidak memiliki DNA, sehingga hanya memiliki RNA saja, maka dalam hal ini fungsi RNA menjadi sama dengan DNA, baik sebagai materi genetik maupun dalam mengatur aktivitas sel. RNA merupakan hasil transkripsi dari suatu fragmen DNA, sehingga RNA merupakan polimer yang jauh lebih pendek dibanding DNA.

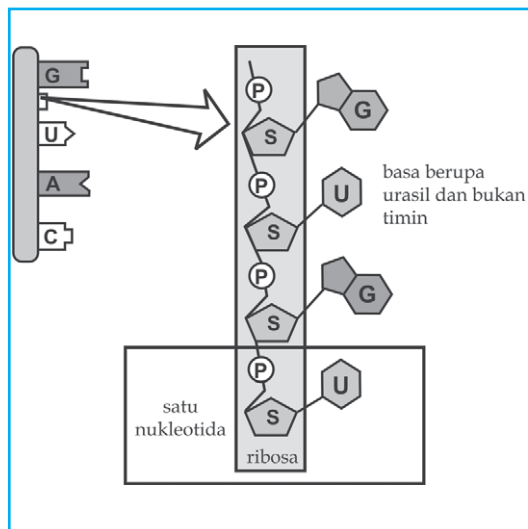
### 1. Struktur RNA

Molekul RNA mempunyai bentuk yang berbeda dengan DNA. RNA memiliki bentuk pita tunggal dan tidak berpilin. Susunan RNA terdiri atas:

- gugus fosfat,
- gula pentosa (gula ribosa),
- basa nitrogen.

Basa nitrogen dibedakan menjadi dua jenis.

- 1) Basa purin yang tersusun dari Adenin (A) dan Guanin (G).
- 2) Basa pirimidin yang tersusun dari Sitosin (S) dan Urasil (U).

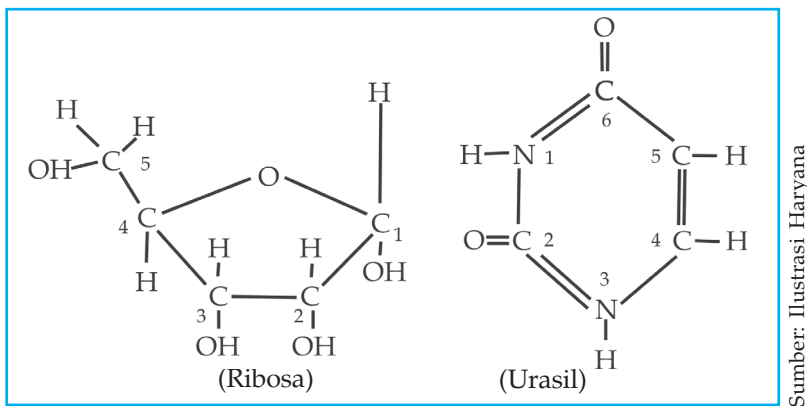


Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 3.16  
Struktur RNA

Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 3.16.

Basa purin dan pirimidin RNA memiliki rumus kimia yang berbeda dari DNA. Rumus kimia gula pentosa dan basa urasil dari RNA dapat dijelaskan seperti terlihat pada Gambar 3.17!



Gambar 3.17  
Rumus kimia gula pentosa (Ribosa) dan basa urasil dari RNA

## 2. Macam dan Fungsi RNA

Menurut peranan dan tempat terdapatnya, RNA dapat dibedakan seperti berikut.

### a. RNA duta (RNA<sub>d</sub>)

RNA duta disebut juga *messenger* RNA (mRNA). RNA duta merupakan RNA yang urutan basanya berpasangan dengan salah satu urutan basa rantai DNA.

RNA duta dibentuk oleh DNA di dalam inti sel, fungsi dari RNA duta adalah menyampaikan informasi genetik dalam bentuk kode-kode genetik dalam inti ke ribosom dan sebagai pola cetakan dalam membentuk polipeptida. RNA duta ini dibentuk bila diperlukan dan jika tugasnya selesai, maka akan dihancurkan dalam plasma. Rantai tunggal RNA duta cukup panjang seperti terlihat pada Gambar 3.18 di bawah ini.

A U G G U C A A U G C G U U A U G U A C G A A U G

Gambar 3.18  
Rantai tunggal RNA duta

### b. RNA ribosom (rRNA)

RNA ribosom dibentuk oleh DNA dan terdapat di dalam ribosom. Fungsi dari RNA ribosom adalah sebagai mesin perakitan dalam sintesis protein yang bergerak ke satu arah sepanjang RNA duta. Di dalam ribosom molekul rRNA ini mencapai 30-46%.

### c. RNA transfer (tRNA)

RNA transfer dibentuk oleh DNA dan terletak di dalam sitoplasma. RNA transfer berfungsi mengangkut asam-asam amino ke ribosom sesuai dengan kode yang terdapat dalam RNA duta, serta menerjemahkan kode-kode yang dibawa oleh RNA duta.

Dengan adanya penjelasan materi di atas, terdapat perbedaan antara DNA dan RNA. Coba Anda diskusikan hal ini dengan teman-teman sekelas Anda! Perbedaan antara DNA dan RNA dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Perbedaan DNA dan RNA**

No	Objek	DNA	RNA
1	Letak	Inti sel	Inti sel, sitoplasma, ribosom
2	Bentuk	Pita spiral ganda	Pita tunggal
3	Komponen gula	Deoksiribosa	Ribosa
4	Ukuran	Sangat panjang	Pendek
5	Basa nitrogen	Purin : Adenin, Guanin Pirimidin : Sitosin, Timin	Purin : Adenin, Guanin Pirimidin : Sitosin, Urasil
6	Kadar	Tidak dipengaruhi oleh kecepatan sintesis protein	Berubah-ubah menurut kecepatan sintesis protein
7	Fungsi	Mengendalikan faktor keturunan dan sintesis protein	Sintesis protein

## F SINTESIS PROTEIN

Gambaran tentang sintesis protein dapat diibaratkan seperti saat kita memasak makanan. Protein kita ibaratkan sebagai makanan. Agar dapat diperoleh makanan dengan cita rasa yang lezat maka diperlukan bahan dan proses yang tepat. Demikian juga dalam sintesis protein, bahan dan rangkaian prosesnya tertentu danurut.

Anda sudah mempelajari tentang DNA dan RNA. Maka di sini akan dibahas bagaimana DNA dan RNA tersebut melaksanakan proses dalam pewarisan sifat kepada keturunannya dengan melakukan sintesis protein, yaitu proses penyusunan senyawa protein dengan membentuk rangkaian rantai polipeptida. Sintesis protein ini terjadi di dalam ribosom dan pengaturan sintesis protein dilakukan oleh gen (DNA) di dalam inti.

Gen, dalam hal ini DNA ketika menjalankan fungsinya, yaitu menyusun protein sangat dipengaruhi oleh susunan sel serta gen-gen lain dalam lingkungannya. Kegiatan sel diatur oleh berbagai enzim, yaitu senyawa protein yang bekerjanya sangat spesifik.



Senyawa-senyawa sebagai bahan dan pelaksana sintesis protein antara lain DNA, RNA duta, RNA transfer, RNA ribosom, dan enzim RNA – polimerase, energi yang digunakan di dalam melakukan sintesis protein adalah berupa ATP. Secara garis besar, tahapan proses sintesis protein antara lain seperti berikut.

## 1. Transkripsi

Transkripsi adalah pencetakan mRNA (kode) oleh DNA (DNA template/ DNA sense) dengan menggunakan enzim RNA polimerase. Adanya enzim RNA polimerase ini akan menyebabkan rangkaian *double helix* sebagian akan membuka, akibatnya basa-basa pasangannya menyusun Adenin (A) pada mRNA dan seterusnya. Hasil penyusunan mRNA yang sudah jadi akan meninggalkan inti untuk melekat pada ribosom, yang merupakan organela pelaksana sintesis protein.

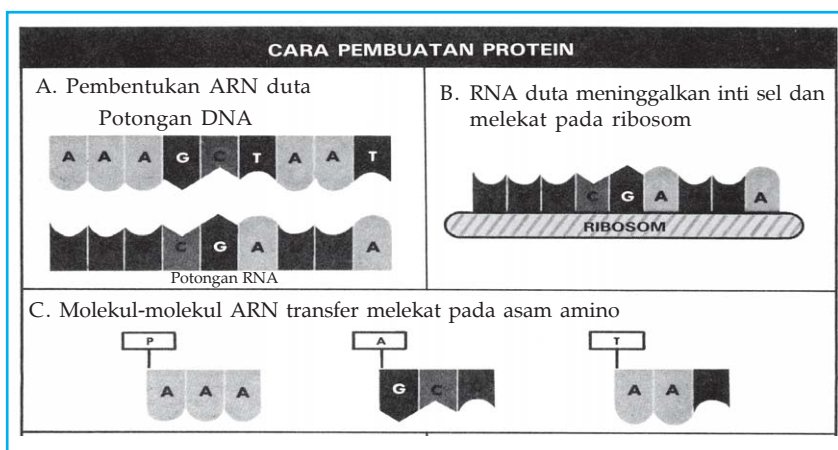
## 2. Translasi

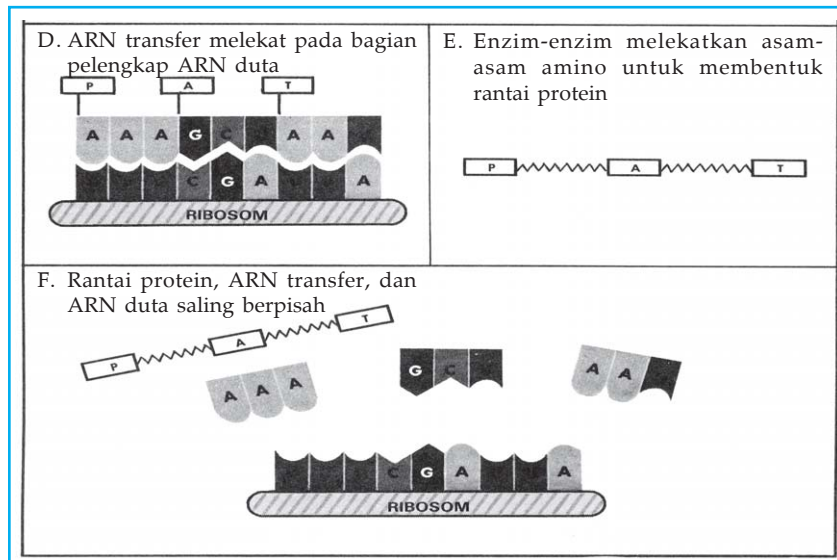
Kode pada mRNA akan terbaca oleh ribosom dengan dibantu oleh tRNA yang terdapat di dalam sitoplasma. tRNA akan datang untuk membawa asam amino yang sesuai dengan kode yang dibawa mRNA tersebut. Kemudian tRNA akan bergabung dengan mRNA yang sesuai dengan kode pasangan basa.

Bagian pada tRNA yang terlibat ini disebut antikodon, yang berhubungan dengan tiga basa pada pita mRNA yang disebut dengan kodon.

Asam amino akan berjajar-jajar dalam urutan yang sesuai dengan kodenya. Dari hal ini akan terbentuk protein yang berfungsi sebagai enzim, dalam mengatur metabolisme sel dan reproduksi.

Agar lebih jelas tentang sintesis protein, perhatikan Gambar 3.19!

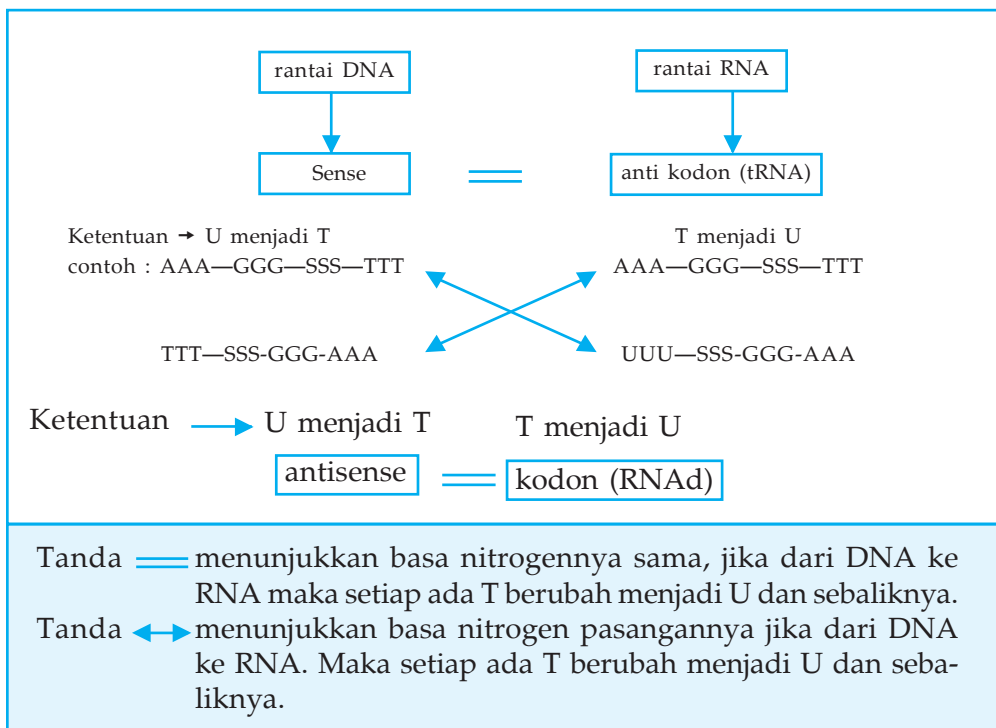




Sumber : Ilmu Pengetahuan Populer, Widyadara, 1986

Gambar 3.19  
Sintesis protein

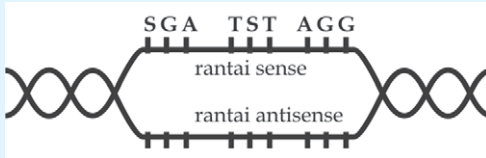
### Rumus Praktis Sintesis Protein



Agar lebih memahami tentang sintesis protein, lakukan tugas kelompok berikut!

## TUGAS KELOMPOK 2

1. Perhatikan gambar berikut!



Berdasarkan gambar tersebut tuliskan hasil transkripsi DNA!

2. Dari sepotong molekul DNA diketahui basa-basa nitrogennya adalah TGG GG SST TSS. Sebutkan:
  - a. rangkaian antisensennya
  - b. RNA duta
  - c. kodon
  - d. antikodon
  - e. asam-asam amino yang terbentuk



Tuliskan pasangan dari asam amino di atas!  
Kerjakan di buku tugas Anda!

## G KODE GENETIK

DNA merupakan bahan genetika yang memberi informasi dari satu generasi ke generasi berikutnya. Informasi yang terdapat dalam molekul DNA, yaitu berupa kode-kode yang terjadi dari dua deretan rantai basa nitrogen yang berpilin. Apabila pilinan tersebut membuka, maka rantai yang membentuk mRNA disebut rantai bermakna (DNA sense) sedangkan apabila rantai tersebut tidak membentuk mRNA disebut rantai tak bermakna (DNA antisense).

Macam-macam basa nitrogen yang menjadi kode-kode ada empat, yaitu Sitosin (S), Timin (T), Adenin (A), dan Guanin (G). Jenis kode yang digunakan untuk kode asam-asam amino yang berjumlah 20 adalah sebagai berikut.

### 1. Kemungkinan Kode Singlet

Kemungkinan kode singlet terjadi apabila suatu nukleotida memberi kode satu asam amino, atau  $4^1 = 4$  kodon, untuk sampai berjumlah 20, maka kode ini masih kurang 16, sehingga kode ini tidak memenuhi syarat, karena hanya mengkode 4 asam amino saja.

### 2. Kemungkinan Kode Duplet

Kemungkinan kode duplet terjadi apabila dua nukleotida memberi kode satu asam amino, atau  $4^2 = 16$  kodon. Kode ini pun hanya membentuk 16 kodon sehingga kode ini masih kurang 4.

### 3. Kemungkinan Kode Triplet

Kemungkinan kode triplet terjadi apabila tiga nukleotida memberi kode satu asam amino,  $4^3 = 64$  kodon. Kode ini akan memiliki kelebihan yaitu  $64 - 20 = 44$  kodon, tapi ini tidak menjadi masalah.

Kode ini cukup walaupun satu asam amino harus mempunyai  $64 : 20 = \pm 3$  macam kode basa nitrogen.

Penelitian tentang kode genetika ini dikemukakan oleh **M. Nirenberg** (1961) dan **H. Mathei** (1961) dan kemudian diperkuat oleh **G.H. Khorama** (1964). Kode genetika adalah kode yang dibawa oleh mRNA untuk disampaikan ke tRNA. Kode genetika yang merupakan urutan tiga basa nitrogen yang membentuk suatu triplet disebut kodon dapat Anda lihat pada Tabel 3.3.

Coba Anda perhatikan Tabel 3.3. Pada tabel tersebut terdapat kodon AUG, kodon ini disebut juga kodon start karena untuk memulai sintesis polipeptida, sedangkan UAG, UGA, dan UAA disebut kode tak bermakna atau stop untuk mengakhiri dari suatu protein. Kodon-kodon ini bukan merupakan kode untuk semua asam amino.

**Tabel 3.3. Kode tiga basa (triplet) yang membentuk asam amino**

Basa Pertama	Basa Kedua				Basa Ketiga
	G	A	C	U	
G	GGG GGA GGC GGU } <i>Gly</i>	GAG } <i>Glu</i> GAA } GAC } <i>Asp</i> GAU }	GCG } GCA } <i>Ala</i> GCC } GCU }	GUG } GUA } <i>Val</i> GUC } GUU }	G A C U
A	AGG } <i>Arg</i> AGA } AGC } <i>Ser</i> AGU }	AAG } <i>Lis</i> AAA } AAC } <i>Asn</i> AAU }	ACG } ACA } <i>Thr</i> ACC } CCU }	AUG “Start” <i>Met</i> AUA } AUC } <i>Ile</i> AAU }	G A C U
C	CGG } CGA } <i>Arg</i> CGC } CGU }	CAG } <i>Gln</i> CAA } CAC } <i>His</i> CAU }	CCG } CCA } <i>Pro</i> CCC } CCU }	CUG } GUA } <i>Leu</i> CUC } CUU }	G A C U
U	UGG <i>Try</i> UGA “Stop” UGC } <i>Cys</i> UGU }	UAG “Stop” UAA “Stop” UAC } <i>Tyr</i> AUA }	UCG } UCA } <i>Ser</i> UCC } UCU }	UUG } UUA } <i>Leu</i> UUC } <i>Phe</i> UUU }	G A C U

Keterangan :

<i>Ala</i> = alanin	<i>Leu</i> = leusin
<i>Arg</i> = arginin	<i>Lys</i> = lisin
<i>Asn</i> = asparagin	<i>Met</i> = metionin
<i>Asp</i> = asam aspartat	<i>Phe</i> = fenilalanin
<i>Cys</i> = sistein	<i>Pro</i> = prolin
<i>Gln</i> = glutamin	<i>Ser</i> = serin
<i>Glu</i> = asam glutamat	<i>Thr</i> = treonin
<i>Gly</i> = glisin	<i>Try</i> = triptofan
<i>His</i> = histidin	<i>Tyr</i> = tirosin
<i>Ile</i> = isoleusin	<i>Val</i> = valin

Walaupun RNA telah bekerja dengan teliti dalam proses sintesis protein, tetapi kesalahan dalam menerjemahkan mungkin dapat juga terjadi sehingga jika terjadi kesalahan dalam menerjemahkan kode-kode tersebut, maka asam-asam amino yang tersusun akan berbeda dan tidak sesuai dengan yang diharapkan DNA.

Akibatnya jenis protein yang dihasilkan juga akan berbeda. Peristiwa ini disebut mutasi dan bersifat menurun atau diwariskan kepada turunannya.

Misalnya, hemoglobin pada darah manusia

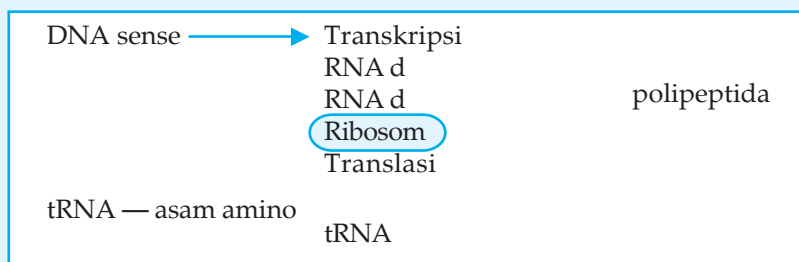
Jika Hb normal = Valin – Histidin – Leusin – Treonin – Prolin – Asam glutamat.

Antara gen-gen yang ada juga dipengaruhi oleh lingkungan sehingga menampakkan sifat fenotipe suatu makhluk hidup.

Seorang ahli genetika, **Stern** (1930) mengemukakan bahwa fenotipe tidak hanya ditentukan oleh genotipe saja, tetapi juga dipengaruhi lingkungan sehingga fenotipe merupakan resultan antara faktor genotipe dengan lingkungan.

## TUGAS INDIVIDU

Perhatikan skema sintesis protein berikut ini! Salinlah di buku tugas, kemudian lengkapi skema sintesis protein tersebut!



Setelah itu jawablah pertanyaan berikut ini!

1. Jelaskan langkah-langkah dari sintesis protein!
2. Bagaimanakah perbedaan DNA dan RNA berhubungan dengan sintesis protein?
3. Jika basa nitrogen antisense DNA pada saat sintesis protein adalah: TGT SGA TSG AGT GTG, maka:
  - a. Tulislah basa nitrogen pada kodogen
  - b. Tulislah basa nitrogen pada kodon
  - c. Tulislah basa nitrogen pada tRNA
  - d. Sebutkan asam amino yang terbentuk (dengan melihat daftar asam amino)

## RANGKUMAN

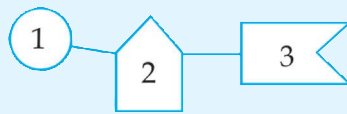
1. Susunan DNA sangat kompleks dengan rantai nukleotida yang panjang.
2. Setiap nukleotida tersusun dari senyawa fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen.
3. Basa nitrogen terdiri atas purin yang tersusun dari Adenin, Guanin dan Pirimidin yang tersusun dari Timin dan Sitosin.
4. Struktur DNA berupa *double helix* atau pita spiral ganda, sedangkan RNA berupa pita tunggal.
5. Macam-macam RNA antara lain RNA duta (mRNA), RNA ribosom (rRNA), dan RNA transfer (tRNA).
6. Gen merupakan substansi hereditas yang berfungsi untuk mewariskan sifat kepada keturunannya.
7. Kromosom terdiri atas sentromer, yaitu bagian kepala yang merupakan pusat kromosom dan bagian lengan yang mengandung kromosom dan gen.
8. Sintesis protein dilakukan oleh DNA dan RNA melalui tahapan transkripsi dan translasi.

## LATIHAN

### I. Pilihlah jawaban yang paling benar!

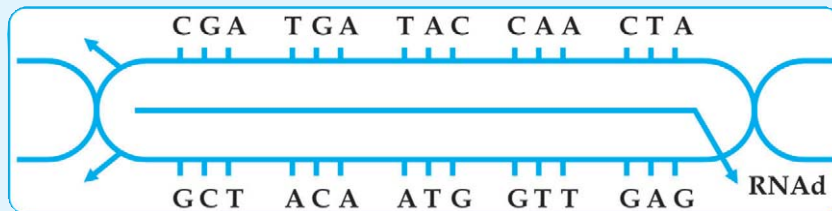
1. Seorang tokoh yang mengemukakan pendapat bahwa gen adalah substansi hereditas yang merupakan suatu kesatuan kimia adalah ....
  - a. Hugo de Vries
  - b. Charles Darwin
  - c. Count de Buffon
  - d. Gregor Mendel
  - e. Thomas Hunt Morgan
2. Di dalam nukleus terdapat benang-benang halus yang sifatnya mudah menyerap zat warna hijau, yaitu ....
  - a. telomer
  - b. benang spindel
  - c. kromosom
  - d. kromonema
  - e. sentromer
3. Perbedaan antara DNA dan RNA dalam hal berikut, *kecuali* ....
  - a. komponen gula
  - b. letak
  - c. basa nitrogen
  - d. rantai
  - e. fosfat

4. Struktur double helix yang terdapat pada DNA bersifat sangat mantap, hal ini disebabkan oleh ....
  - a. ikatan ionik
  - b. ikatan kovalen
  - c. ikatan hidrogen
  - d. ikatan antarmolekul
  - e. ikatan oksigen
5. DNA dan RNA bertanggung jawab untuk ....
  - a. mengurangi cacat kelahiran
  - b. penurunan sifat hereditas
  - c. penyusun lemak
  - d. mempercepat proses tubuh
  - e. membentuk antibodi
6. Gambar berikut merupakan satu molekul nukleotida



Secara berurutan 1, 2, 3 dari rangkaian tersebut adalah ....

- a. gula pentosa, basa nitrogen, fosfat
  - b. gula pentosa, fosfat, basa nitrogen
  - c. fosfat, basa nitrogen, gula pentosa
  - d. fosfat, gula pentosa, basa nitrogen
  - e. basa nitrogen, gula pentosa, fosfat
7. Rantai DNA melakukan transkripsi sebagai berikut!

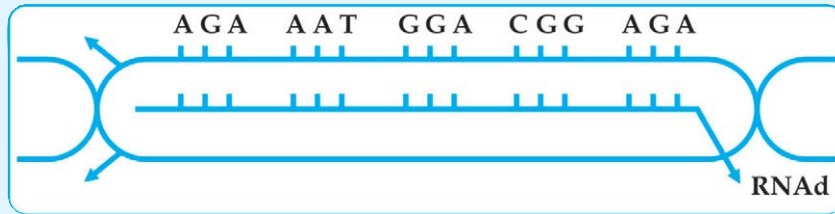


RNA yang terbentuk adalah ....

- a. CGA, AAC, UGU, UCU, CUA
- b. CGA, UGU, UAC, CAA, CUC
- c. CGA, UGU, UAC, AUU, CUC
- d. UUG, AAC, UGU, ACA, AGA
- e. UUG, UGU, UAC, AUU, CUC



8. Sepotong DNA terdiri atas basa-basa nitrogen berikut!



Bila terjadi transkripsi, maka RNAd yang terbentuk adalah ....

- AAU, UCU, CCU, GGC, UCU
  - AGA, AAU, CCG, GGA, AGA
  - UCU, CCU, UUA, GGC, UCU
  - AGA, AAU, GGA, CCG, AGA
  - UCU, UUA, CCU, GGC, UCU
9. Pada sintesis protein dengan urutan basa nitrogen sama antara DNA dan RNA kecuali Timin, terjadi pada rantai ....
- antisense dengan sense
  - antikodon dengan t-RNA
  - sense dengan antikodon
  - kodon dengan d-RNA
  - antisense dengan antikodon
10. Urutan triplet kodon RNAd yang terbentuk dari sense berikut adalah ....



- UUA-GGC-GGA-UAA
  - TTA-GGC-GGA-TAA
  - AAU-CCG-GGA-AUU
  - AAU-GGA-GGC-UUA
  - GGC-UAA-GGA-UAA
11. Kromosom sel somatik wanita normal terdiri atas ....
- 44 autosom dan sepasang kromosom X
  - 22 autosom dan sepasang kromosom X
  - 23 pasang autosom dan sepasang kromosom X
  - 22 pasang autosom dan satu kromosom X
  - 44 autosom dan satu kromosom X

12. Dalam sintesis protein, yang merupakan kode genetik sebagai dasar penyusunan asam amino menjadi protein atau polipeptida rangkaian basa nitrogen terdapat dalam ....
- a. RNA duta
  - b. RNA ribosom
  - c. RNA transfer
  - d. rantai sense DNA
  - e. rantai antisense DNA
13. Fungsi RNA duta adalah ....
- a. mengarahkan sintesis protein
  - b. mengandung triplet kodon
  - c. menjadi template pada waktu sintesis RNA
  - d. benar semua
  - e. salah semua
14. Bagian inti sel yang kaya akan DNA adalah ....
- a. kromatin
  - b. nukleoplasma
  - c. membran inti
  - d. nukleolus
  - e. benar semua
15. Pengertian alel yang benar adalah ....
- a. gen-gen yang hanya memiliki sel kelamin
  - b. pasangan kromosom yang homolog
  - c. kromosom-kromosom yang hanya dijumpai pada sel tubuh
  - d. gen-gen yang memberikan pengaruh pada suatu sifat dengan banyak pengaruh
  - e. pasangan gen pada kromosom homolog pada lokus yang bersesuaian dan memberikan pengaruh sifat yang sama atau hampir sama

## **II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan benar!**

1. Bagaimana hubungan antara gen, DNA, dan nukleotida?
2. Sebutkan substansi dasar penyusun DNA!
3. Apakah fungsi dari DNA?
4. Jelaskan fungsi dari gen dan kromosom!
5. Faktor-faktor apa sajakah yang mempengaruhi kerja gen?
6. Sebutkan peranan RNA dalam sintesis protein!
7. Tuliskan rumus kimia dari:
  - a. purin,
  - b. pirimidin,
  - c. basa urasil!

8. Jelaskan bentuk-bentuk dari kromosom disertai dengan gambar!
9. Jelaskan perbedaan antara transkripsi dan translasi!
10. Apakah perbedaan antara DNA dan RNA?

## UJI KOMPETENSI

**Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Coba Anda ingat kembali tentang kasus tragedi bom Bali yang terjadi beberapa tahun lalu! Tragedi pengeboman itu memakan banyak korban tewas, bahkan pelaku pengeboman juga tewas dengan tubuh terpotong-potong menjadi bagian-bagian yang sangat kecil sehingga sulit untuk mengetahui identitasnya secara langsung. Untuk mengetahui identitas pelaku pengeboman dilakukan dengan cara mencocokkan DNA potongan tubuh pelaku pengeboman dengan DNA orang tua korban. Mengapa uji DNA dapat digunakan untuk mengetahui identitas pelaku pengeboman tersebut? Jelaskan jawaban Anda disertai alasan yang tepat sesuai teori yang telah Anda pelajari!
2. Virus yang mengalami replikasi DNA memerlukan penggunaan protein yang tidak memiliki aktivitas enzim. Bagaimana protein dapat bertindak sebagai pembuka untuk replikasi DNA? Apakah keuntungan penggunaan protein dibandingkan penggunaan fisik, untuk memulai replikasi?
3. Dalam suatu keluarga, biasanya kita temukan banyak kemiripan, terutama antara orang tua dengan anak. Apakah yang menyebabkan terjadinya kemiripan tersebut? Menurut Anda, sampai generasi keberapakah pewarisan gen dapat diteruskan? Jelaskan jawaban Anda disertai jawaban yang tepat!

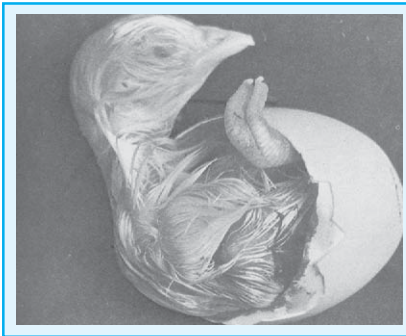
# BAB

## 4

## PEMBELAHAN SEL

### Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari materi tentang pembelahan sel. Dengan mempelajari materi ini, diharapkan Anda mengetahui dan memahami proses yang terjadi pada pembelahan sel dan mengetahui perwujudannya dalam kehidupan.



Gambar 4.1 Anak ayam baru menetas

Sumber: Popular Globler International, 1984

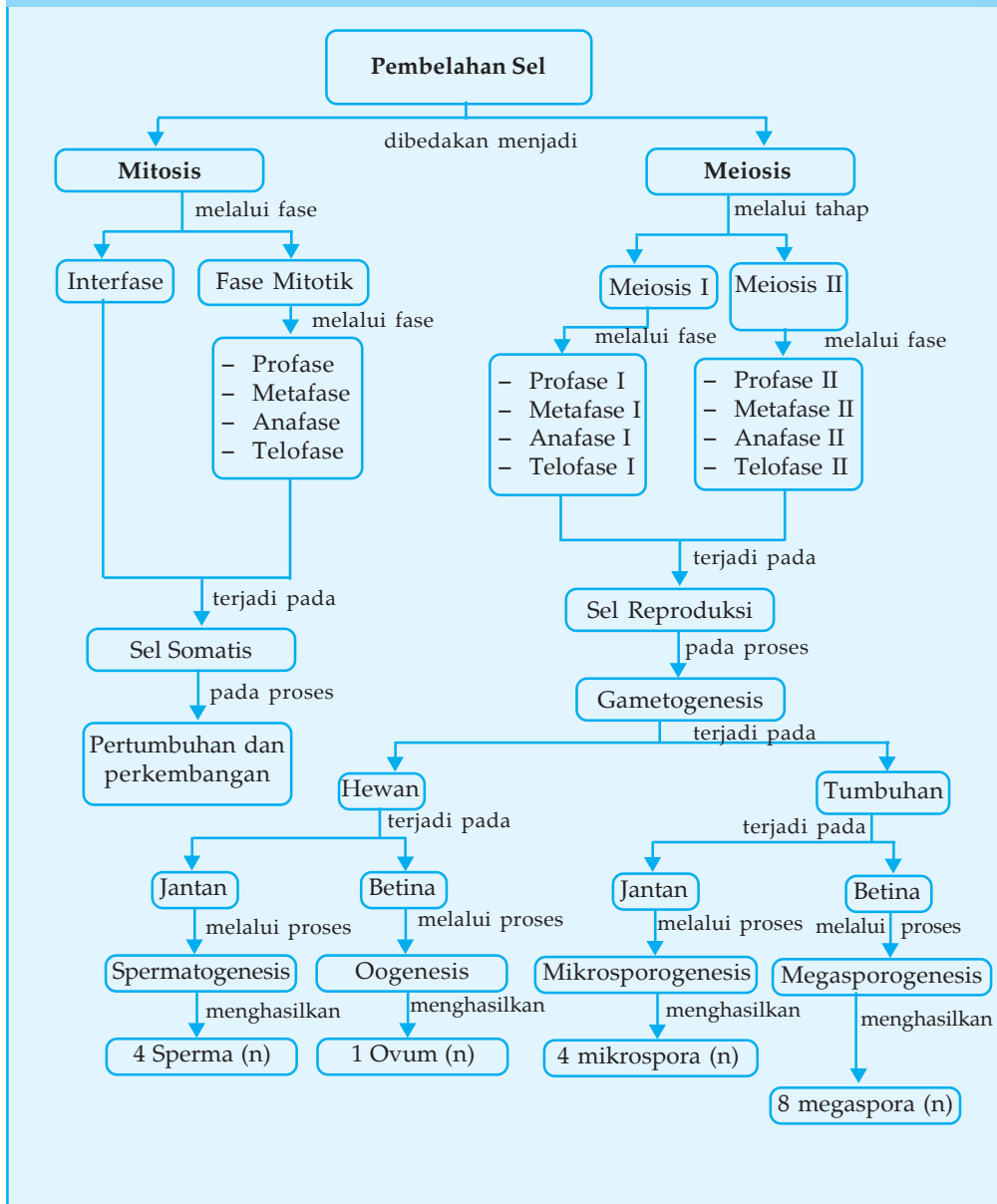
### Kata Kunci

- sel
- kromosom
- sitoplasma
- diploid
- haploid
- metafase
- anafase
- telofase
- mitosis
- meiosis

Makhluk hidup berasal dari pembelahan sel-sel yang menyusun tubuhnya. Berawal dari satu sel, kemudian membelah menjadi banyak sel. Perhatikan Gambar 4.1! Gambar tersebut memperlihatkan anak ayam yang baru menetas. Peristiwa itu menunjukkan hasil aktivitas pembelahan sel. Semula sel gamet hanya terdiri atas satu sel, kemudian akan mengalami proses gametogenesis dan menghasilkan zigot. Selanjutnya zigot terus akan membelah membentuk embrio dan akhirnya akan membentuk individu yang baru.

Individu baru yang terbentuk memiliki sifat-sifat seperti induknya. Hal ini disebabkan pada peristiwa pembelahan sel, sel induk memindahkan salinan informasi genetik yang terdapat di dalam kromosomnya kepada sel anakan sebagai generasi penerus sehingga dapat dikatakan bahwa pembelahan sel merupakan cara untuk menurunkan sifat-sifat induknya kepada anaknya.

## PETA KONSEP



Melalui peristiwa pembelahan sel akan dihasilkan berbagai sifat makhluk hidup yang sesuai dengan induknya sehingga beberapa sifat makhluk hidup akan dapat dipertahankan oleh keturunannya. Melalui peristiwa ini pula makhluk hidup dapat tumbuh dan berkembang, sehingga bertambah jumlah dan ukurannya. Banyak sifat-sifat unggul dari tumbuhan dan hewan di Indonesia yang diwariskan dari induk kepada keturunannya, misalnya buah-buahan seperti mangga, durian, pisang, dan beberapa hewan seperti ayam, sapi, dan lain-lain. Semua itu dapat melengkapi kebutuhan kita. Oleh sebab itulah sudah semestinya jika kita harus selalu bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, dengan selalu menjaga kelestarian semua makhluk hidup ciptaan-Nya.

Dalam bidang genetika, pembelahan mitosis merupakan proses yang menghasilkan dua sel anak yang identik. Pembelahan mitosis terjadi secara tidak langsung karena melalui tahap-tahap fase pembelahan, atau dikatakan sebagai pembelahan secara tidak langsung yang melibatkan benang-benang gelendong untuk mengatur tingkah laku kromosom.

Pembelahan mitosis mempertahankan pasangan kromosom yang sama melalui pembelahan inti dari sel somatis secara berturut-turut. Pembelahan ini diawali dengan pembelahan inti (*kariokinesis*) dan dilanjutkan dengan pembelahan sitoplasma (*sitokinesis*). Pembelahan mitosis disebut juga pembelahan biasa yang memiliki ciri-ciri antara lain:

1. pembelahan berlangsung satu kali;
2. jumlah sel anak yang dihasilkan adalah dua buah;
3. jumlah kromosom sel anak sama dengan jumlah kromosom pada induknya, yaitu  $2n$  (diploid);
4. sifat sel anak sama dengan sifat pada induknya;
5. terjadi pada sel tubuh (sel somatik) misalnya pada jaringan embrional antara lain ujung akar, ujung batang, lingkaran kambium;
6. tujuan pembelahan mitosis adalah untuk memperbanyak sel-sel seperti pertumbuhan atau perbaikan sel yang rusak;
7. melewati tahapan pembelahan yaitu interfase, profase, metafase, anafase, dan telofase, namun secara umum tahap-tahap tersebut akan kembali ke tahap semula sehingga membentuk suatu siklus sel.

Mengapa pembelahan sel ini harus melalui berbagai tahapan tertentu? Hal ini disebabkan agar sel anakan benar-benar menerima informasi genetik yang sama persis dengan induknya, sehingga tidak akan terjadi kelainan pada sel-sel anakan.

Siklus sel meliputi fase-fase berikut.

## 1. Fase Interfase

Fase interfase disebut juga fase istirahat karena tidak menampilkan tanda-tanda pembelahan. Pada fase ini terjadi peristiwa pertumbuhan dan pengumpulan energi yang besar untuk persiapan pembelahan sel. Proses interfase memerlukan waktu yang paling lama. Interfase dapat dibedakan menjadi tiga, antara lain:

- a. fase pertumbuhan primer;
- b. fase sintesis, pada fase ini terjadi sintesa DNA dan organel sel;
- c. fase pertumbuhan sekunder;

Selama interfase, kromosom tidak kelihatan karena benang-benang kromatin tidak berpilin. Interaksi antara DNA, RNA, dan protein terjadi selama tahap-tahap tertentu dari interfase.

## 2. Fase Mitotik

Fase mitotik merupakan fase terjadinya replikasi kromosom. Fase ini meliputi, tahap-tahap berikut.

### a. Profase

Tahap profase pada mitosis akan terjadi proses-proses sebagai berikut.

- 1) Kromosom mengerut dan menjadi tebal. Pemendekan ini terjadi akibat berpilinnnya kromosom.
- 2) Terlihat dua sister kromatid dan kromosom tampak rangkap dua. Kromatid-kromatid dihubungkan oleh sentromer.
- 3) Nukleolus menjadi kabur dan hilang pada akhir profase.
- 4) Selaput inti mulai menghilang.
- 5) Benang gelendong mulai terbentuk.
- 6) Kromosom mulai bergerak ke tengah atau ekuator dari sel.

### b. Metafase

Pada tahap metafase ini terjadi proses-proses berikut.

- 1) Benang-benang gelendong menjadi jelas pada permulaan metafase dan teratur seperti kumparan. Benang-benang ini terdiri atas serabut protein halus yang terbuat dari *mikrotubule* yang sangat kecil. Pada banyak

hewan dan tanaman tingkat rendah, benang gelendong ini dibentuk dalam hubungannya dengan sentriol (badan yang menandai kutub dari mekanisme benang gelendong). Benang gelendong ini penting untuk penyebaran kromosom secara teratur.

- 2) Masing-masing kromosom terletak berbaris pada bidang ekuator. Sentromer melekat pada benang gelendong. Beberapa benang gelendong mencapai kutub tanpa melekat pada sentromer.
- 3) Sentromer membelah dan masing-masing kromatid menjadi kromosom tunggal.

### **c. Anafase**

Tahap anafase pada pembelahan mitosis terjadi proses-proses berikut.

- 1) Dua sister kromatid (kromosom) bergerak ke arah kutub yang berlawanan. Sentromernya tertarik karena kontraksi dari benang gelendong, selain itu mungkin ada gaya tolak menolak dari pembelahan sentromer itu.
- 2) Terjadi penyebaran kromosom dan DNA yang seragam di dalam sel.
- 3) Pada akhir anafase sekat sel mulai terbentuk dekat bidang ekuator.

Tahap anafase ini merupakan fase yang terpendek dari fase-fase mitotik.

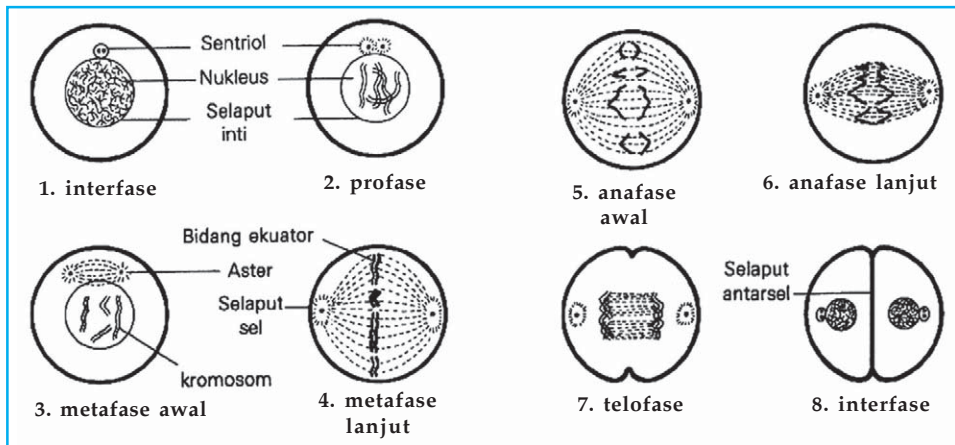
### **d. Tahap Telofase**

Pada tahap telofase terjadi proses-proses antara lain:

- 1) benang-benang gelendong itu hilang;
- 2) selaput inti dan nukleolus terbentuk kembali;
- 3) struktur kromosom istirahat dan dianggap proses selesai;
- 4) sekat sel terbentuk kembali dan sel membelah menjadi dua sel anak, terjadi sitokinesis (pembelahan sitoplasma), semua benda-benda dalam sitoplasma membelah dan pindah ke dalam sel anak, sel baru itu mempunyai sifat kenampakan seperti interfase.

Agar Anda lebih jelas memahami tentang tahap-tahap yang terjadi pada proses mitosis dapat, perhatikan Gambar 4.2!





Sumber: Pustaka Ilmu Life, Tiara Pustaka, 1986

Gambar 4.2 Stadium mitosis

Untuk lebih memahami lagi mengenai proses-proses pada pembelahan mitosis lakukan Kegiatan Kelompok 1 berikut!

## KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan :** Untuk mengetahui fase-fase pembelahan mitosis pada ujung akar bawang merah (*Allium cepa*)

**Alat dan Bahan :**

1. Mikroskop
2. Objek glass
3. Gelas penutup
4. Jarum preparat
5. Akar bawang merah
6. Larutan alkohol 70%
7. Larutan HCl (5 ml HCl pekat + 55 ml aquades)
8. Larutan fiksasi (tiga alkohol, satu asam aseto glasial)
9. Pewarna asetokarmin
10. Gliserin

**Cara Kerja:**

1. Masukkan ujung akar ke dalam larutan fiksasi selama satu sampai dua jam.

2. Bilaslah dengan larutan alkohol 75%.
3. Hidrolisa dengan HCl dan panaskan pada suhu 60° C selama 30 menit.
4. Berikan pewarnaan dengan asetokarmin.
5. Letakkan ujung akar yang telah diwarnai pada objek gelas yang terisi dengan gliserin.
6. Gilaslah atau pencetlah dengan menggunakan jarum preparat atau dapat langsung dengan gelas penutup.
7. Amatilah dengan mikroskop.
8. Gambarlah hasil pengamatan Anda di buku tugas/kertas gambar

**Berdasarkan Kegiatan Kelompok 1 jawablah pertanyaan di bawah ini!**

1. Mengapa ujung akar harus difiksasi terlebih dahulu?
2. Apa gunanya pewarnaan pada percobaan tersebut?
3. Apa fungsi gliserin pada pengamatan tersebut?
4. Bagaimana tahap-tahap pembelahan mitosis? Catatlah hasil pengamatan Anda dan buatlah kesimpulan dari hasil percobaan ini dan presentasikan di depan kelas, kemudian konsultasikan kesimpulan itu pada guru pengampu.

## • TUGAS KELOMPOK

Pembelahan sel dapat dipacu dengan pemberian hormon, misalnya pada tumbuhan dengan pemberian hormon giberelin dan auksin. Pemberian hormon tersebut dapat memacu pertumbuhan tanaman.

Bagaimanakah hormon-hormon tersebut dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman? Kaitkanlah dengan proses pembelahan sel. Kerjakan tugas ini di buku tugas Anda!

Pemberian hormon pertumbuhan pada tanaman dapat mempengaruhi pembelahan sel sehingga pembelahan sel menjadi cepat. Hal ini dapat Anda ambil manfaatnya untuk budidaya tanaman sayur, buah dan tanaman hias. Hormon pertumbuhan dapat dibeli di toko obat-obatan tanaman. Petunjuk pemakaian dapat dibaca di label kemasan. Jika tanaman tumbuh dengan baik maka hasilnya menguntungkan bagi kita bukan?

Selamat mencoba!

## B PEMBELAHAN MEIOSIS

Jenis kelamin manusia di dunia ini ada dua, yaitu laki-laki dan wanita. Pada waktu terjadi pertumbuhannya, ayah memberikan setengah dari sel kelaminnya dan ibu juga setengah dari sel kelaminnya, sehingga kita mewarisi masing-masing sel setengah dari sel kelamin dari orang tua kita.

Pembelahan meiosis disebut juga dengan pembelahan *reduksi* karena pada pembelahan ini terjadi pengurangan jumlah kromosom menjadi separuhnya. Pembelahan meiosis ini memiliki sifat-sifat berikut.

1. Pembelahan berlangsung dua kali.
2. Jumlah sel anak yang dihasilkan adalah 4 buah.
3. Jumlah kromosom sel anak adalah setengah dari jumlah kromosom induk, yaitu  $n$  (haploid).
4. Sifat sel anak berbeda dengan sel induknya.
5. Terjadi pada sel kelamin (sel gamet).
6. Tujuan pembelahan meiosis yaitu agar generasi berikutnya mempunyai jumlah kromosom tetap.

Pembelahan meiosis meliputi tahapan-tahapan berikut.

### 1. Pembelahan Meiosis I

Pada proses pembelahan meiosis I terjadi beberapa tahap berikut.

#### a. Profase I

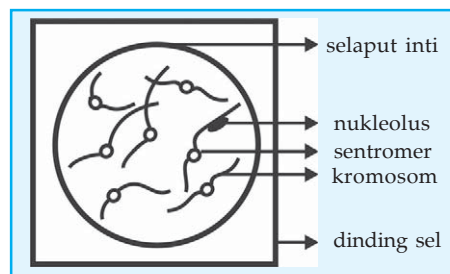
Pada tahap ini terjadi lima proses.

##### 1) Leptoten

Leptoten merupakan tahap pengumpulan kromosom. Pada tahap ini terjadi proses-proses berikut.

- a) Kromonemata merenggang dan kelihatan sebagai benang-benang halus. Kromomernya menjadi kelihatan dan serabutnya mungkin telah mengganda tetapi tidak kelihatan. Biasanya nukleolus dan selaput inti masih ada.
- b) Filamen protein mulai terbentuk secara lateral dan kemudian melekat pada sentromer.

Agar lebih jelas perhatikan Gambar 4.3!



Sumber: Ilustrasi Haryana

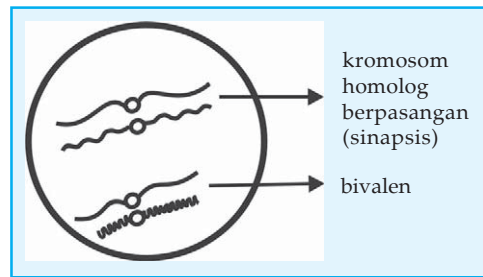
Gambar 4.3 Tahap Leptoten

## 2) Zigoten

Zigoten merupakan tahap kromosom memendek dan berpasangan (*sinapsis*). Pada tahap ini terjadi proses-proses berikut.

- Kromosom homolog saling tarik-menarik dan mulai berpasangan (*sinapsis*). Suatu prosedur yang tetap dan terjadi antara kromomer dan kromomer.
- Peristiwa ini merupakan perbedaan yang jelas antara meiosis dan mitosis. Pasangan kromosom homolog itu disebut *bivalen*.
- Diduga kromosom homolog berdekatan satu dengan yang lain selama interfase. Replikasi DNA terjadi selama interfase dan terbentuk kromatid. Pada leptoten terbentuk serabut protein sebagai elemen lateral yang kemudian melekat pada kromatid. Struktur ini disebut *synaptonemal kompleks*. Ternyata elemen lateral ini saling menarik dan melekatkan kromosom menjadi satu.
- Sinapsis ini memungkinkan pertukaran bahan genetik dari kromosom induk dan kromosom bapak.

Agar lebih jelas, perhatikan Gambar 4.4!



Sumber: Ilustrasi Haryana

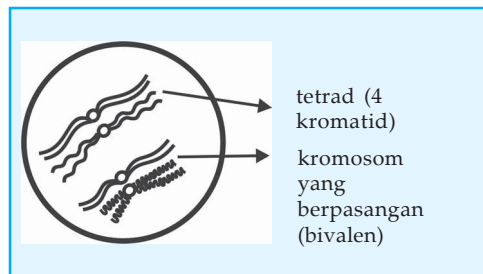
Gambar 4.4 Tahap zigoten

## 3) Pakhiten

Tahap pakhiten merupakan tahap akhir dari proses berpasangan. Pada tahap ini terjadi proses-proses berikut.

- Kromosom makin pendek karena makin berpilin.
- Masing-masing bivalen menjadi dua dan terlihat empat benang yang disebut *tetrad*.
- Terjadi pindah silang dengan pertukaran timbal balik antara bagian kromosom homolog. Beberapa sintesis DNA tetap berlangsung yang mungkin ada hubungannya dengan pindah silang.

Agar lebih jelas, perhatikan Gambar 4.5!



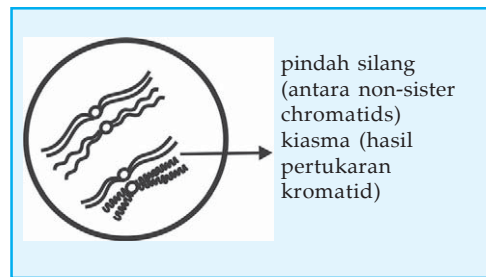
Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 4.5 Tahap pakhiten

#### 4) Diploten

Pada tahap diploten terjadi proses kromosom yang berpasangan mulai memisah. Pada tahap ini terjadi proses-proses antara lain:

- a) pemendekan kromosom berlangsung terus;
  - b) mulai terjadi pemisahan pasangan kromosom;
  - c) bukti terjadinya pindah silang ialah pembentukan kiasma yang terlihat sebagai bentuk silang dari lengan kromosom, pemisahan gen terdapat pada kromosom yang sama;
  - d) synaptinemal kompleks kemudian terlepas dari kromatid.
- Agar lebih jelas, perhatikan Gambar 4.6!



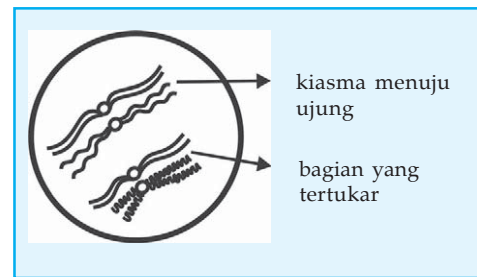
Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 4.6 Tahap diploten

#### 5) Diakinesis

Pada tahap diakinesis terjadi proses-proses berikut.

- a) Pemendekan kromosom mendekati maksimum.
- b) Kiasmata mendekati ujung dan jumlahnya makin berkurang.
- c) Benang gelendong mulai terbentuk dan selaput inti mulai hilang.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 4.7 Tahap diakinesis

Proses tersebut terlihat pada Gambar 4.7.

#### b. Metafase I

Pada tahap metafase terjadi proses-proses berikut.

- 1) Benang gelendong menjadi teratur dan beberapa benang melekat pada sentromer.
- 2) Sentromer dari bivalen terdapat pada bidang metafase yang merupakan pasangan kromosom, bukan merupakan kromosom tunggal seperti pada metafase dari mitosis.
- 3) Berderetnya bivalen ini secara rambang, dalam hubungannya dengan kromosom yang berasal dari pihak ayah dan pihak ibu. Pengaturan kromosom pada metafase ini adalah akibat pengaruh genetik.

### c. Anafase I

Pada tahap anafase I terjadi tahap-tahap berikut.

- 1) Pemisahan kromosom homolog selesai kemudian kromosom bergerak ke arah kutub yang berlawanan. Sentromer tidak membelah dan bagian kromosom yang bertukar bergerak bersama di mana bagian itu baru saja melekat. Masing-masing kromosom sekarang mempunyai dua kromatid.
- 2) Pengaturan kromosom homolog dan perpindahannya ke arah kutub benang gelendong ini secara kebetulan dan merupakan dasar hukum pemisahan bebas dan segregasi dari Mendel. Apabila gen dominan dan resesif pada satu pasang kromosom homolog diberi simbol A dan a, maka gen-gen ini akan memisah ke kutub yang berlawanan. Apabila gen dominan dan resesif pada satu pasang kromosom homolog lain diberi simbol B dan b, maka kedua pasang gen itu akan memisah secara bebas.

### d. Telofase I

Telofase merupakan tahap yang terjadi proses-proses berikut.

- 1) Telah terjadi reduksi jumlah kromosom (haploid). Masing-masing kromosom ini terdiri dari dua kromatid.
- 2) Tahap ini sangat berbeda-beda antara spesies satu dengan yang lain. Pada beberapa sel tanaman terbentuk selaput inti dan nukleolus muncul kembali, sedang pada yang lain tidak terbentuk selaput inti. Replikasi DNA tidak terjadi lagi, tetapi sintesis protein dapat berlangsung terus.

## 2. Pembelahan Meiosis II

Apabila diamati di bawah mikroskop, pembelahan kedua ini serupa dengan mitosis tetapi sebenarnya bukan mitosis. Tidak ada kromosom homolog, kromatidnya mungkin bukan merupakan belahan dari kromosom yang sama karena adanya pindah silang dan pertukaran bahan genetik antara kromatid dari kromosom lain. Pembelahan kedua ini perlu untuk memisahkan kromatid ke dalam gamet-gamet. Tahap pembelahan meiosis II terdiri atas tahap-tahap berikut.

### a. Profase II

Pada tahap profase II terjadi proses-proses antara lain:

- 1) kromosom menjadi pendek dan tebal kemudian menjadi kelihatan lagi;
- 2) kromosom-kromosom ini mulai bergerak ke bidang metafase.

### b. Metafase II

Pada tahap metafase II ini terjadi proses-proses antara lain:

- 1) kromosom kelihatan, terdiri atas dua kromatid;

- 2) penyebaran kromatid ke arah kutub secara rambang;
- 3) sentromer melekat pada benang gelendong;
- 4) sentromer mulai membelah.

### c. Anafase II

Pada tahap anafase II ini terjadi proses antara lain:

- 1) sentromer dari masing-masing kromosom telah membelah dan kromatid telah memisah dan menjadi satu kromosom;
- 2) kromosom baru itu bergerak menuju kutub.

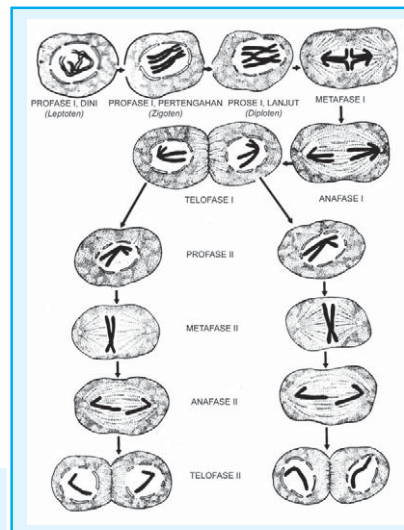
### d. Telofase II

Pada tahap telofase II ini terjadi proses antara lain:

- 1) selaput inti terbentuk mengelilingi empat hasil pembelahan;
- 2) bentuk kromosom tidak jelas;
- 3) masing-masing inti mengandung satu anggota dari pasangan kromosom, keadaan haploid;
- 4) terjadi modifikasi sel lebih lanjut untuk menghasilkan gamet.

Perhatikan Gambar 4.8 yang menunjukkan tahap-tahap pembelahan meiosis.

Gambar 4.8 Tahapan pembelahan meiosis



Sumber: Biologi 1, Kimball, 1989

Untuk dapat lebih memahami tentang proses pembelahan meiosis Anda dapat melakukan Kegiatan Kelompok 2!

## KEGIATAN KELOMPOK 2

**Tujuan :** Mengamati fase-fase pembelahan meiosis pada serbuk sari bunga adam hawa (*Rhoeo discolor*)

**Alat dan Bahan :**

- |                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| 1. Mikroskop     | 5. Pipet                  |
| 2. Objek glass   | 6. Pewarna acetocarmin    |
| 3. Glass penutup | 7. Kuncup bunga adam hawa |
| 4. Kaca pengaduk |                           |

**Cara Kerja :**

1. Ambillah kuncup bunga yang masih muda kemudian ambil kepala sari yang berwarna hijau kekuningan.
2. Letakkan kepala sari pada obyek glass dan tetesi dengan pewarna asetokarmin.
3. Hancurkan atau haluskan kepala sari dengan pengaduk dan tutuplah dengan obyek glass.
4. Amatilah dengan menggunakan mikroskop.
5. Gambarlah hasil pengamatan Anda di buku tugas.

**Jawablah pertanyaan di bawah ini pada buku tugas Anda!**

1. Apakah fungsi pewarna asetokarmin?
2. Mengapa diambil kuncup bunga muda dan kepala sari yang hijau kekuningan?
3. Fase-fase apa saja yang Anda amati?

Dari semua penjelasan tentang pembelahan sel secara mitosis dan meiosis, maka dapat dibuat tabel perbandingan antara keduanya yang dapat Anda lihat pada tabel 4.1 di bawah ini.

No.	Mitosis	Meiosis
1.	Pembelahan yang memisahkan sister kromatid	Tahap pertama adalah pembelahan kromosom reduksi yang memisahkan kromosom homolog pada anafase I, sister kromatid memisah pada anafase II.
2.	Satu pembelahan tiap daur, yaitu satu pembelahan kromosom yang sama.	Dua kali pembelahan tiap daur yaitu dua pembelahan sitoplasma, satu pembelahan setelah pembelahan reduksi dan satu mengikuti pembelahan kromosom yang sama.
3.	Kromosom tidak berpasangan biasanya tidak terbentuk kiasmata, tidak terjadi pertukaran genetik antara kromosom homolog.	Kromosom berpasangan dan membentuk kiasmata, pertukaran genetik terjadi kromosom homolog.



No.	Mitosis	Meiosis
4.	Dari satu sel dihasilkan dua sel anak.	Dari satu sel dihasilkan empat sel anak tiap daur.
5.	Kandungan genetik dari hasil mitosis identik.	Kandungan genetik dari proses meiosis berbeda, kromosom dapat merupakan turunan dari kromosom induk atau bapaknya dengan kombinasi yang bermacam-macam karena adanya pengelompokan secara random dan derajat pindah silang.

### • TUGAS KELOMPOK

Bentuklah kelompok beranggotakan 4-5 orang untuk mendiskusikan permasalahan berikut!

Penyakit kanker tergolong penyakit yang berbahaya bersifat mematikan. Penyakit kanker disebabkan adanya pembelahan sel yang tak terkendali sehingga dapat mengganggu jaringan-jaringan di sekitarnya.

Diskusikanlah lebih lanjut tentang kanker itu! Bagaimana terbentuknya? Mengapa dapat terjadi demikian? Untuk mendukung materi diskusi carilah sumber dari buku atau majalah bahkan bisa dari internet!

## C GAMETOGENESIS

*Gametogenesis* merupakan proses pembentukan sel-sel gamet di dalam tubuh makhluk hidup. Proses-proses tersebut dapat terjadi pada makhluk hidup berikut.

### 1. Hewan

Proses spermatogenesis pada hewan meliputi dua proses.

#### a. Spermatogenesis

*Spermatogenesis* adalah proses pembentukan sel spermatozoa atau sel kimia jantan yang terjadi di dalam testis, tepatnya pada tubulus seminiferus. Proses spermatogenesis berlangsung sebagai berikut.

Sel primordial sperma yang bersifat diploid ( $2n$ ) di dalam testis membelah secara mitosis berkali-kali dan akhirnya membentuk atau menghasilkan empat sel spermatogonium diploid ( $2n$ ). Sel spermatogonium mengalami perkembangan dan membelah secara mitosis membentuk spermatosit primer ( $2n$ ). Kemudian spermatosit primer mengalami pembelahan secara meiosis I dan menghasilkan dua buah spermatosit sekunder yang haploid ( $n$ ). Setiap spermatosit sekunder akan melanjutkan pembelahan secara meiosis II dan masing-masing menghasilkan dua spermatosit sehingga pada akhir meiosis dua dihasilkan empat buah spermatosit. Pada manusia dua spermatid mengandung 22 autosom + 1 kromosom X atau  $22\text{ AA} + \text{X}$  dan spermatid lainnya mengandung 22 autosom + 1 kromosom Y atau  $22\text{ AA} + \text{Y}$  yang akan digunakan dalam pewarisan jenis kelamin. Selanjutnya keempat spermatid akan mengalami pematangan empat buah spermatozoa yang haploid ( $n$ ).



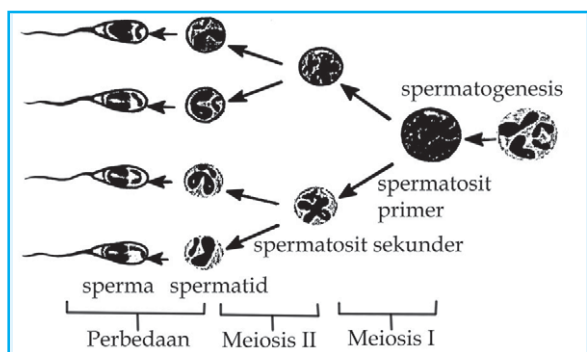
### Perlu Diketahui

Pembentukan gamet pada hewan tingkat tinggi dan manusia melalui 2 cara yaitu:

1. spermatogenesis, terjadi pada testis, menghasilkan 4 sel yang fungsional.
2. oogenesis, terjadi pada ovarium, menghasilkan 1 sel telur fungsional, dan 3 badan sel kutub.

Setiap spermatozoa mempunyai ekor untuk membantu pergerakan, mengandung akrosom yang dapat menghasilkan enzim proteinase dan hiakironidase. Untuk menembus lapisan pelindung sel telur, selama pertumbuhan dari spermatogonium sampai menjadi spermatozoa dirawat dan dipelihara oleh sel sertoli untuk menghasilkan nutrisi bagi spermatozoa dan sel leydig dalam menghasilkan hormon jantan yaitu hormon testosteron. Proses pembentukan spermatozoa ini berlangsung mulai menginjak dewasa dan berjalan secara terus-menerus.

Agar lebih memahami tentang proses spermatogenesis, perhatikan Gambar 4.9 di bawah ini.



Sumber : Ensiklopedi Sains dan Kehidupan, 1997

Gambar 4.9 Proses spermatogenesis

## b. Oogenesis

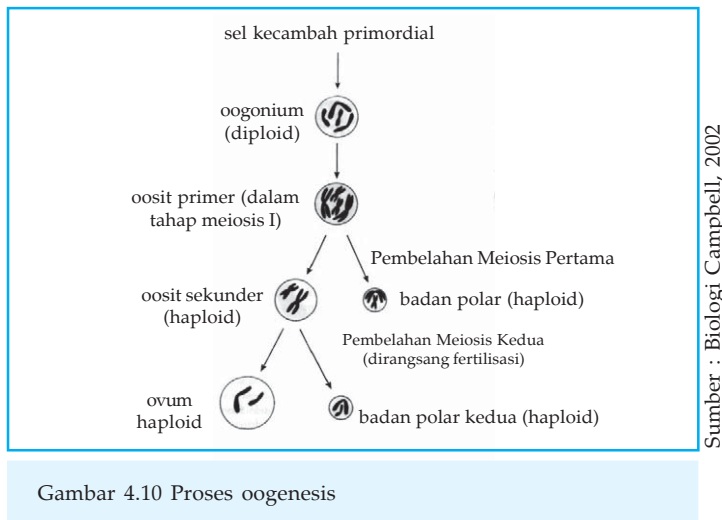
*Oogenesis* adalah proses pembentukan ovum atau sel telur yang terjadi di dalam ovarium oleh sel folikel. Proses yang terjadi pada oogenesis adalah sebagai berikut.

Sel primordial ovum atau oogenesis yang bersifat diploid ( $2n$ ) membelah secara mitosis berkali-kali dan menjadi oosit primer ( $2n$ ). Oosit primer akan melakukan pembelahan meiosis I dan akan menjadi oosit sekunder dan haploid ( $n$ ) kemudian menjadi badan polar atau sel polosit sekunder ( $n$ ). Sedangkan sel polosit primer membelah menjadi dua buah sel polosit sekunder ( $n$ ).

Pada akhir oogenesis, ootid akan mengalami pertumbuhan dan perkembangan menjadi sebuah ovum haploid ( $n$ ) yang fungsional dan 3 sel polosit sekunder akan mengalami degenerasi (pada manusia ovum mengandung 22 autosom dan kromosom X atau  $22AA + X$ ).

Bagian luar ovum diselubungi oleh membran corona radiata dan zona pelucida. Selama pertumbuhan dan perkembangannya, ovum diatur oleh hormon wanita (estrogen dan progesteron). Oogenesis pada manusia berlangsung sejak awal hingga dewasa dan berjalan sampai berumur 40 atau 50 tahun saja.

Agar lebih jelas perhatikan Gambar 4.10 di bawah ini!



## 2. Tumbuhan Tingkat Tinggi

Proses gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi meliputi tahap-tahap berikut.

### a. Mikrosporogenesis

*Mikrosporogenesis* adalah proses pembentukan gamet jantan (sperma) yang berlangsung pada bunga yaitu di dalam serbuk sari bagian dari kepala sari (antenna) yang di dalamnya terdapat kantong serbuk sari atau mikrosporangium. Proses mikrosporogenesis berlangsung sebagai berikut:

Sebuah sel induk mikrospora diploid (mikrosporosit) dalam antenna membelah secara meiosis I dan menghasilkan sepasang sel haploid. Pada meiosis II menghasilkan 4 mikrospora haploid ( $n$ ) yang berkelompok membentuk tetrad. Setiap mikrospora akan mengalami kariokinesis (pembelahan inti), sehingga menghasilkan 2 inti yang haploid yaitu satu inti dinamakan inti saluran serbuk sari dan satu inti generatif. Inti generatif membelah secara mitosis tanpa disertai sitokinesis dan terbentuklah 2 inti sperma ( $n$ ) dan inti serbuk sari tidak membelah. Dengan demikian maka sebutir serbuk sari yang telah masak mengandung 3 inti yang haploid, yaitu serbuk inti saluran serbuk sari dan 2 buah inti sperma.

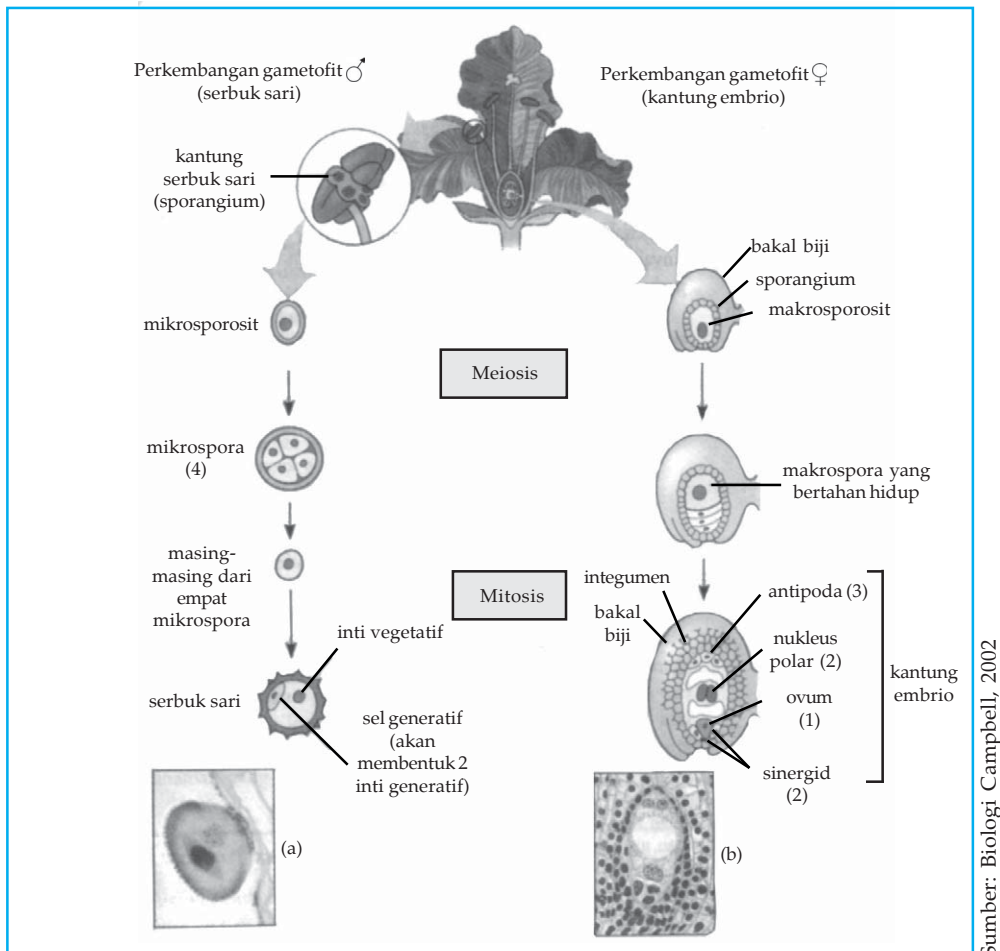
### b. Megasporogenesis

*Megasporogenesis* adalah proses pembentukan gamet betina (ovum) yang berlangsung dalam bakal buah (ovarium) dan menghasilkan kandung lembaga. Proses megasporogenesis berlangsung sebagai berikut.

Sebuah sel induk megaspora diploid (megasporosit) dalam ovarium mengalami meiosis I dan menghasilkan 2 sel diploid. Selanjutnya mengalami meiosis II menghasilkan 4 megaspora haploid yang letaknya berderet dan 3 megaspora mengalami degenerasi dan mati. Satu megaspora yang tersisa mengalami pembelahan mitosis tiga kali berturut-turut tanpa diikuti sitokinesis (pembelahan plasma) dan menjadi 8 inti megaspora (kandung lembaga muda) yang haploid, kemudian 4 inti kelompok di kalaza (bagian antara bakal biji dan tangkai biji) dan 4 inti berada di dekat mikrofil. Satu inti dari masing-masing kelompok bergerak ke tengah dan menyatu membentuk inti kandung lembaga sekunder ( $2n$ ) sedangkan 3 inti yang berada pada kalaza dinamakan inti antipoda dan 3 inti yang berada di mikrofil berkembang menjadi 1 inti sel telur atau ovum ( $n$ ) yang di tengah dan 2 inti sinergid ( $n$ ) yang di sampingnya maka pada kandung lembaga yang masak terdapat:

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| 1) 3 inti antipoda         | 3) 1 inti ovum ( $n$ )                       |
| 2) 2 inti sinergid ( $n$ ) | 4) 1 inti kandung lembaga sekunder ( $2n$ ). |

Agar pemahaman Anda tentang proses gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi lebih jelas dapat Anda lihat pada Gambar 4.11 berikut ini!



Sumber: Biologi Campbell, 2002

Gambar 4.11 Proses gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi

## D KETERKAITAN ANTARA PEMBELAHAN MITOSIS DAN MEIOSIS DENGAN PEWARISAN SIFAT

Jika kita perhatikan, tubuh dan jenis kelamin kita merupakan perpaduan dari kedua orang tua kita, tubuh kita sepenuhnya berasal dari ayah dan ibu, sedangkan jenis kelamin kita setengah berasal dari ayah dan setengah dari ibu. Dengan perpaduan tersebut dapat kita ketahui bahwa dalam tubuh kita telah mengalir ciri dan sifat dari kedua orang tua kita.

Makhluk hidup melakukan reproduksi dalam rangka memperbanyak keturunan, menjaga kelestarian jenisnya, dan dalam rangka mewariskan sifat dari induk kepada keturunannya. Karena makhluk hidup tersusun atas sel-sel, maka reproduksi tingkat sel mempunyai peranan penting, khususnya dalam pewarisan sifat.

Reproduksi pada tingkat sel dilakukan dengan cara pembelahan, baik secara mitosis maupun meiosis. Pembelahan tersebut melibatkan inti sel yang di dalamnya terdapat kromosom dalam bentuk DNA atau lebih dikenal dengan gen.

Kromosom bertugas membawa sifat individu dan membawa informasi genetika yang tugas tersebut dilaksanakan oleh gen, yaitu menyampaikan informasi genetik dari generasi ke generasi, terutama pada saat gen melakukan duplikasi diri. Agar sifat induk tersebut dapat diwariskan kepada keturunannya, maka diperlukan mekanisme pembagian gen melalui penggandaan kromosom.

Mekanisme pembagian gen melalui penggandaan kromosom tersebut dengan jalan melakukan pembelahan, baik secara mitosis maupun meiosis. Bagaimanakah pembelahan mitosis dan meiosis dapat melakukan pewarisan sifat? Pelajarilah dalam uraian berikut ini!

## **1. Pewarisan Sifat Melalui Pembelahan Mitosis**

Pada saat sel membelah menjadi dua sel anak, maka terjadi pula penggandaan kromosom yang membawa gen sehingga setiap sel anak akan mendapatkan jumlah kromosom yang sama dan identik dengan sel induknya. Sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Semua sifat induk diwariskan pada kedua sel anaknya.
- b. Setiap sel anak memiliki sifat yang identik dengan sel induknya.

Proses pembelahan sel mitosis berlangsung di seluruh sel-sel jaringan tubuh, kecuali pada sel kelamin, sehingga pewarisan sifat seluruh sel-sel tubuh akan senantiasa sama atau identik dengan induknya. Contoh nyata pembelahan mitosis yaitu pada cara-cara reproduksi vegetatif seperti setek, cangkok, kultur jaringan, dan kloning.

## **2. Pewarisan Sifat Melalui Pembelahan Meiosis**

Pembelahan meiosis terjadi pada sel kelamin dan menghasilkan empat sel anak yang hanya mewarisi setengah jumlah sel kromosom dari sel induknya. Jika sel induknya bersifat diploid ( $2n$ ) maka sel anak akan bersifat haploid ( $n$ ).

Sel spermatozoa dan sel ovum (telur) adalah hasil akhir dari proses pembentukan gamet (gametogenesis) melalui pembelahan meiosis, maka sel spermatozoa dan sel ovum hanya mewarisi setengah dari sel kromosom induk.

Sel spermatozoa dan sel ovum sama-sama bersifat haploid dan jika terjadi fertilisasi serta terbentuk zigot, maka zigot merupakan gabungan dari hasil dua sel haploid atau menjadi sel yang diploid, sehingga dapat disimpulkan bahwa:

- a. pewarisan sifat secara meiosis terjadi secara generatif (perkawinan);
- b. zigot hasil fertilisasi memiliki setengah sifat dari induk jantan dan setengah sifat dari induk betina.

Daur hidup merupakan proses-proses di mana suatu organisme menghasilkan organisme lain sesamanya. Kromosom memegang peranan utama dan penting dalam daur hidup. Organisme yang berkembang biak secara seksual memulai kehidupannya dari satu sel yang terbentuk karena penggabungan dari dua sel kelamin induk yang bersifat haploid.

Sel gabungan atau zigot mempunyai susunan kromosom diploid ( $2n$ ) baru kemudian mulai pembelahan mitosis yang menghasilkan pertumbuhan, perkembangan dan perbedaan-perbedaan serta sifat dari individu dewasa, sedangkan yang mengalami meiosis adalah sel-sel kelamin dengan susunan kromosom yang tereduksi.

Dari proses-proses pembelahan sel di atas Anda dapat memahami bahwa di dalam tubuh manusia banyak terjadi proses-proses tersebut, baik pada sel gamet maupun pada sel tubuh.

Kehebatan sel dalam melakukan pembelahan ini yaitu sel mengetahui secara pasti kapan harus membelah dan kapan harus berhenti sehingga prosesnya pasti dan terarah inilah salah satu dari sekian banyak anugerah Tuhan kepada kita, sehingga hal ini harus kita syukuri bersama.

## RANGKUMAN

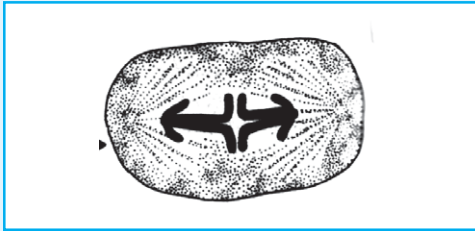
1. Pembelahan sel pada organisme eukariotik meliputi pembagian inti sel (*kariokinesis*) dan pembagian sitoplasma sel (*sitokinesis*).
2. Tahap-tahap pembelahan sel meliputi tahap mitosis dan meiosis.
3. Pembelahan mitosis meliputi tahap-tahap, antara lain interfase, profase, metafase, anafase, dan telofase.
4. Pembelahan meiosis I meliputi tahap-tahap, antara lain profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I. Sedangkan pembelahan meiosis II meliputi tahap-tahap, antara lain profase II, metafase II, anafase II, dan telofase II.
5. Spermatogenesis adalah proses pembentukan sel spermatozoa yang terjadi di dalam testis.
6. Oogenesis adalah proses pembentukan ovum yang terjadi di dalam ovarium.
7. Pembelahan meiosis bertujuan untuk mempertahankan agar sifat kromosom keturunan sama dengan induknya.
8. Pembelahan mitosis bertujuan untuk memperbanyak sel, regenerasi, dan pertumbuhan.



**I. Pilihlah jawaban yang paling benar!**

1. Berikut adalah perbedaan antara pembelahan sel secara mitosis dan meiosis, *kecuali* ....
  - a. pembelahan yang terjadi pada mitosis sebanyak dua kali, sedangkan pada meiosis hanya satu kali
  - b. pada pembelahan mitosis sel anakan bersifat haploid, sedangkan pada pembelahan meiosis bersifat diploid
  - c. tempat terjadi pembelahan mitosis adalah di dalam sel tubuh, sedangkan pembelahan meiosis terjadi di dalam sel kelamin
  - d. hasil dari pembelahan meiosis sebanyak dua sel anakan, sedangkan pembelahan mitosis sebanyak empat sel anakan
  - e. pembelahan mitosis terjadi pada pertumbuhan, sedangkan pembelahan meiosis terjadi pada organ reproduksi
2. Pada pembelahan sel secara mitosis dan meiosis terjadi penambahan materi genetik yang disebut dengan replikasi DNA. Hal ini terjadi pada tahap ....
  - a. metafase
  - b. profase
  - c. anafase
  - d. interfase
  - e. telofase
3. Hal-hal berikut ini yang terjadi pada tahap profase pembelahan mitosis adalah ....
  - a. terbentuk selaput inti
  - b. terbentuk serat gelendong pembelahan
  - c. kromatin menjadi kromosom
  - d. kromosom akan memisahkan diri
  - e. membran inti dan nukleus lenyap
4. Pada saat metafase terlihat kromatid berjejer-jejer di bidang ekuator. Kemungkinan yang terjadi pada fase ini adalah ....
  - a. pautan seks
  - b. pindah silang
  - c. gagal berpisah
  - d. terlihat sel inti
  - e. penghitungan jumlah kromosom

5. Perhatikan gambar sel di bawah ini!



Berdasarkan gambar tersebut, sel berada pada fase ....

- |               |                     |
|---------------|---------------------|
| a. profase I  | d. metafase II      |
| b. profase II | e. metafase mitosis |
| c. metafase I |                     |
6. Peristiwa sitokinesis pada pembelahan sel terjadi pada fase ....
- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| a. interfase            | d. anafase I dan telefase I   |
| b. profase dan metafase | e. telofase I dan telofase II |
| c. anafase dan telefase |                               |
7. Untuk dapat mengamati tahapan pembelahan meiosis, preparat yang dibuat dari bagian tumbuhan adalah dari bagian ....
- |                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| a. batang bagian tengah   | d. mahkota bunga |
| b. putik atau benang sari | e. ujung akar    |
| c. pucuk daun             |                  |
8. Oogonium yang mengalami pembelahan secara mitosis berkali-kali akan menghasilkan ....
- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| a. polosit primer       | d. oosit primer diploid   |
| b. polosit sekunder     | e. oosit sekunder diploid |
| c. oosit primer haploid |                           |
9. Pembentukan mikrospora pada tumbuhan berbunga terjadi pada ....
- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| a. ovarium      | d. kotak sari    |
| b. putik        | e. kelopak bunga |
| c. kepala putik |                  |
10. Pembentukan megasporogenesis pada tumbuhan berbunga terjadi pada ....
- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| a. ovarium      | d. kotak sari    |
| b. putik        | e. kelopak bunga |
| c. kepala putik |                  |

## **II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Apakah perbedaan antara pembelahan mitosis dan meiosis?
2. Jelaskan tahap-tahap pembelahan mitosis!
3. Sebutkan tahap-tahap profase I yang terjadi pada pembelahan meiosis!
4. Bagaimanakah proses pembentukan ovum pada seorang wanita?
5. Jelaskan tahap-tahap gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi!

## **UJI KOMPETENSI**

### **Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Penyakit kanker merupakan penyakit yang berbahaya saat ini. Menurut Anda, apakah ada hubungan kanker dengan pembelahan sel pada tubuh? Bagaimana pembelahan sel tersebut dapat mengarah ke pembentukan sel kanker? Jelaskan pendapat Anda!
2. Pernahkah Anda mendengar tentang bayi kembar siam? Apabila dikaitkan dengan proses pembelahan sel, menurut Anda bagaimana dapat terjadi hal tersebut? Jelaskan pendapat Anda!
3. Pernahkah Anda mendapat luka terbuka di bagian kulit tangan atau organ yang lain? Kapan luka tersebut dapat sembuh kembali? Jika dikaitkan dengan pembelahan sel, bagaimanakah proses terjadinya hal tersebut?
4. Jika kita lihat, pembelahan mitosis terjadi melalui berbagai tahapan. Mengapa pembelahan sel-sel itu harus melalui berbagai tahapan? Apabila salah satu dari tahapan-tahapan tersebut tidak berlangsung dengan baik, menurut Anda apakah yang akan terjadi pada sel tersebut?
5. Bakteri mengadakan pembelahan dengan cepat. Setiap menit bakteri membelah diri dan menghasilkan lebih dari 20 sel anakan. Dapat dikatakan bahwa tingkat reproduksi bakteri paling tinggi dibandingkan organisme lain. Tetapi mengapa dunia ini tidak dibanjiri oleh organisme ini? Jelaskan pendapat Anda disertai alasan yang tepat!

# BAB 5

## PEWARISAN SIFAT

### Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang prinsip hereditas dan pewarisan sifat. Dengan mempelajari materi ini pada bab ini, diharapkan Anda mampu mendeskripsikan proses dan hasil pewarisan sifat serta mengetahui penerapannya dalam kehidupan.

Coba Anda amati foto pada Gambar 5.1! Adakah kemiripan fisik anak dengan kedua orang tuanya?



Sumber: Joned, 2006

Gambar 5.1 Ayah, ibu, dan anak

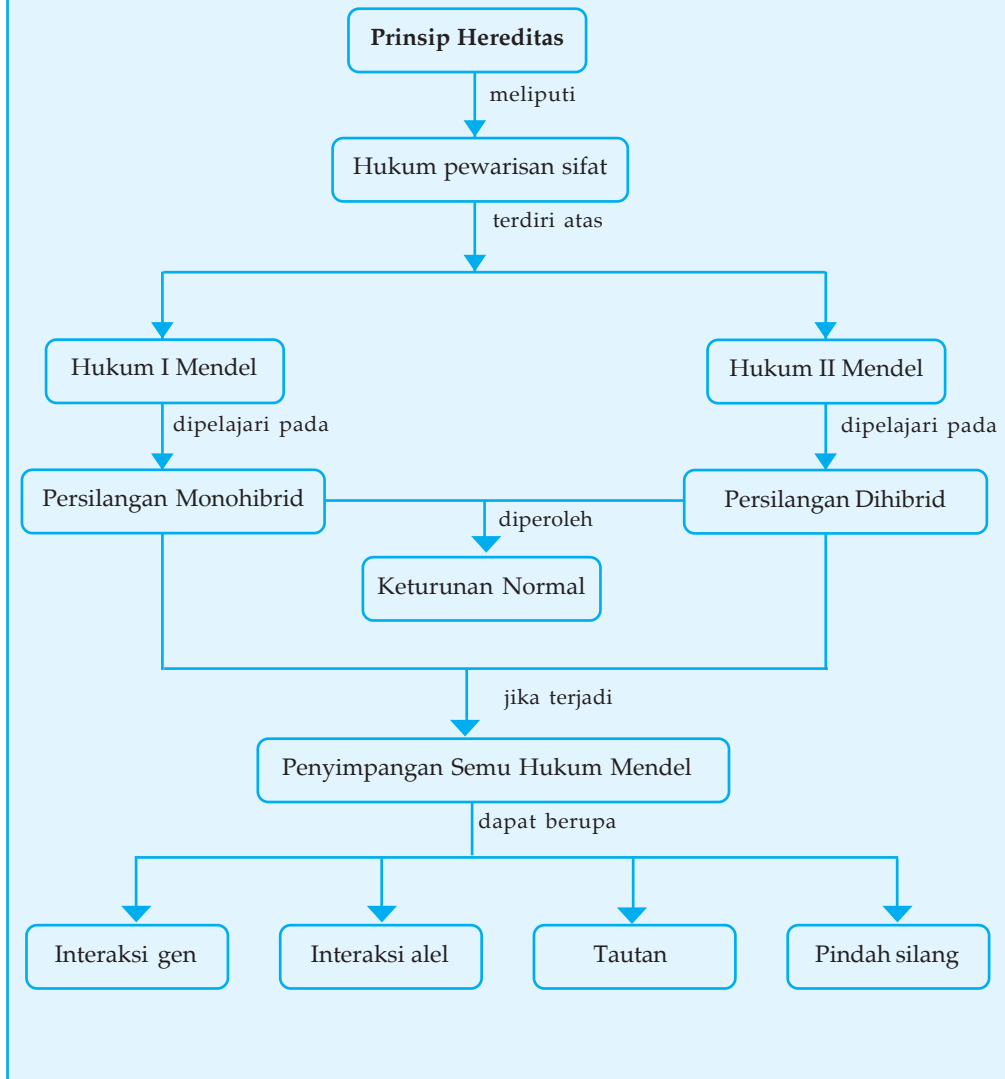
### Kata Kunci

- fenotipe
- genotipe
- tautan
- gen
- dihibrid
- monohibrid
- alel
- homozigot
- heterozigot

Dalam setiap keluarga biasanya terdapat kesamaan ciri-ciri fisik anak dengan orang tuanya, misalnya bentuk rambut, hidung, warna kulit, dan lain-lain. Tetapi ada juga persamaan dan perbedaan dari sifat-sifat yang tidak tampak, misalnya kecerdasan, bakat, suara, kesabaran. Pernahkan Anda berpikir dari manakah sifat-sifat diri kita sendiri itu muncul?

Manusia adalah makhluk ciptaan Tuhan yang paling sempurna karena dibekali akal budi sehingga mampu mengembangkan ilmu pengetahuan. Untuk itulah ditemukan suatu ilmu pengetahuan tentang dasar-dasar yang menjadi landasan dalam pewarisan sifat pada makhluk hidup. Anda akan mempelajarinya pada bab ini.

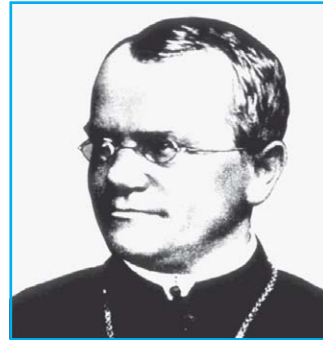
## PETA KONSEP



## A POLA-POLA HEREDITAS

Masih ingatkah Anda pelajaran di SMP/MTs tentang sel dan bagian-bagiannya? Di dalam sel terdapat nukleus (inti sel). Di dalam nukleus terdapat kromosom. Kromosom adalah benang-benang halus yang berfungsi sebagai pembawa informasi kepada keturunannya. Kromosom terdiri atas satuan kecil yang disebut gen. Gen inilah yang mengatur sifat yang akan diwariskan pada keturunan selanjutnya.

Adanya sifat-sifat yang diwariskan dari orang tua (induk) kepada keturunannya sudah lama diketahui. Tahukah Anda orang yang sangat berjasa dalam prinsip pewarisan ini adalah **Gregor Johann Mendel** (1858 – 1866) seorang tabib di Brum, Austria? Bagaimana hasil penemuan Mendel sehingga dapat disebut sebagai Bapak Genetika? Mari kita pelajari bersama dalam uraian berikut!









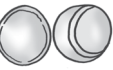






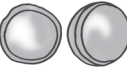
Gambar 5.2 Gregor Johann Mendel

Sumber: Jendela Iptek, 2000

### 1. Hukum I Mendel

Mendel diakui sebagai Bapak Genetika karena dianggap sebagai penemu prinsip dasar penurunan sifat (hereditas) yang sering dikenal dengan hukum Mendel. Dalam percobaannya, Mendel menanam tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*) dan memeriksa keturunan-keturunannya. Keputusan Mendel untuk menggunakan kacang ercis (*Pisum sativum*) sebagai bahan percobaannya sangat tepat, karena tanaman ini kuat dan tumbuh dengan cepat. Daun bunga seluruhnya menutupi organ-organ seksnya sehingga serangga jarang dapat masuk ke dalam organ-organ seksnya dan akan terjadi penyerbukan sendiri. Agar dapat terjadi penyerbukan silang, Mendel membuka kuncup-kuncupnya dan membuang benang sari sebelum masak, kemudian menyapu-nyapukan serbuk sari dari tanaman lain pada putik.

Keuntungan yang lain adalah kacang ercis ini banyak menghasilkan keturunan varietas yang berlainan secara nyata. Di antara varietas kacang ercis memiliki pasangan sifat beda yang menonjol. Lihat Gambar 5.3!

Panjang batang	Letak bunga	Bentuk polong	Warna polong	Warna bunga	Bentuk biji	Warna biji
 tinggi	 ketiak batang	 halus	 hijau	 berwarna	 halus	 kuning
 pendek	 ujung batang	 keriput	 kuning	 putih	 keriput	 hijau

Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 5.3 Sifat beda kacang ercis dari percobaan Mendel (Monohibrid)

Sebelum mempelajari percobaan Mendel Anda perlu mengingat kembali pelajaran di SMP/MTs tentang pewarisan sifat. Coba Anda ingat kembali simbol-simbol yang digunakan yaitu: P digunakan untuk sebutan induk, simbol parental, F (Filius) untuk sebutan keturunan, misalnya F1 berarti keturunan pertama, F2 berarti keturunan kedua, yang artinya keturunan dari hasil persilangan antar-F1 dan seterusnya. Lihatlah Tabel 5.1 tentang simbol-simbol yang digunakan untuk persilangan agar memudahkan Anda dalam mempelajari persilangan.

Tabel 5.1 Simbol-Simbol Persilangan

Simbol	Keterangan
Hibrid	Hasil persilangan dari dua individu dengan sifat beda
Dominan	Sifat yang menang, sifat ini menggunakan simbol huruf besar misalnya HH (halus), KK (kuning).
Resesif	Sifat yang kalah, diberi simbol huruf kecil misalnya hh (kasar), kk (hijau).
Intermediet	Sifat di antara dominan dan resesif misalnya merah adalah dominan (simbol M), sedangkan putih resesif (simbol m) maka merah muda adalah intermediet (simbol Mm).
Genotipe	Merupakan sifat yang ditentukan oleh gen. Misalnya MM, Mm.
Fenotipe	Sifat yang muncul dari luar karena adanya akibat dari hubungan antara faktor genotipe dan lingkungannya.

Simbol	Keterangan
Homozigot	Merupakan bentuk dari gen yang sama pada pasangan kromosom homolog, misalnya gen K mempunyai alel k sehingga gen dan alel ditulis KK dan kk.
Heterozigot	Kebalikan dari homozigot yaitu individu yang mempunyai pasangan gen dan alel yang tidak sama. Misalnya, kulit halus dominan simbol H dan kulit kasar simbol h resesif. Maka Hh adalah heterozigot.
Alel	Bentuk alternatif suatu gen yang menempati lokus yang sama dengan pasangan kromosom homolog misalnya gen B memiliki alel b sehingga gen dan alel dapat ditulis BB atau Bb.

### a. Persilangan Monohibrid

Setelah Anda mengingatnya kembali, mari kita pelajari percobaan Mendel. Sebelum melakukan percobaannya, tanaman kacang ercis (*Pisum sativum*) melakukan penyerbukan sendiri sehingga mendapatkan varietes galur murni. Setelah mendapatkannya, maka Mendel baru melakukan percobaannya dengan satu sifat beda untuk setiap persilangannya. Misalnya, mempersilangkan antara kacang ercis berbiji bulat dengan berbiji keriput. Hasil persilangannya menghasilkan keturunan kacang ercis berbiji bulat, dan hasilnya terlihat muncul satu sifat beda kemudian seterusnya dilakukannya lagi persilangan dengan sifat beda lainnya dan menghasilkan 7 macam sifat beda. Dari hasil pengamatannya pada keturunan pertama (F1) menunjukkan ciri-ciri yang sama dengan salah satu induknya. Hal itu dapat Anda lihat pada Tabel 5.2 berikut ini!

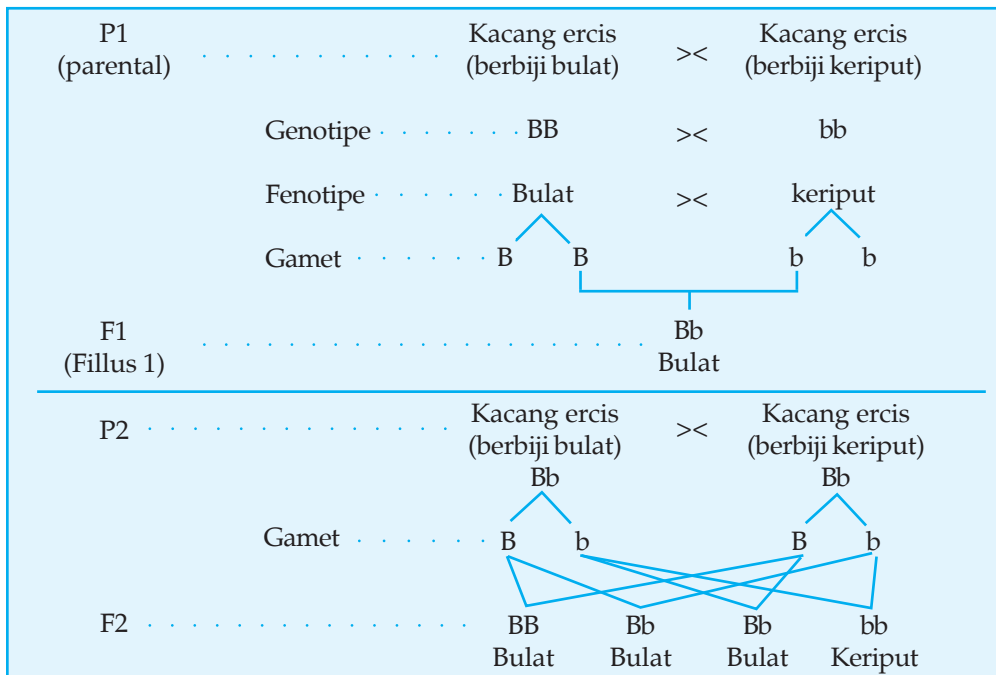
**Tabel 5.2 Percobaan Mendel dari Persilangan dengan Satu Sifat Beda**

No	Sifat Beda	F1
1	Batang panjang >< batang pendek	Batang panjang
2	Bunga di kerak batang >< bunga di ujung batang	Bunga di ketiak batang
3	Polong halus >< polong berlekuk	Polong halus
4	Polong hijau >< polong kuning	Polong hijau
5	Kulit biji berwarna >< kulit biji putih	Kulit biji berwarna
6	Biji bulat >< biji keriput	Biji bulat
7	Biji kuning >< biji hijau	Biji kuning

Setelah mendapatkan hasil seperti pada tabel di atas, kemudian Mendel mengulang percobaannya dengan menyilangkan keturunan pertama (F1) yang dijadikan sebagai induk (P2), ternyata menghasilkan keturunan F2 yang beraneka ragam. Dari hasil pengamatannya, sifat resesif yang tidak muncul pada keturunan F1 akan muncul di keturunan F2.



Mendel beranggapan sifat resesif muncul karena sifat beda yang dimiliki induknya adalah berpasangan. Jadi, dalam persilangannya masing-masing induknya akan memberikan satu fakta sifat beda kepada keturunannya sehingga akan menerima 2 fakta sifat beda dari masing-masing induknya. Agar lebih jelas, coba Anda perhatikan dan amati diagram berikut ini!



Untuk mempermudahnya dapat pula digunakan tabel, perhatikan!

	B	b
B	BB (bulat)	Bb (bulat)
b	Bb (bulat)	bb (keriput)

Dari diagram dan tabel dapat kita lihat perbandingan fenotipe dari F2 adalah = 3 : 1 = bulat : keriput.

Sedangkan untuk perbandingan genotipnya F2 dapat kita lihat adalah 1 : 2 : 1 = BB : Bb : bb

Dengan demikian gen faktor bulat (B) adalah dominan terhadap faktor keriput (b) dan Bb adalah individu yang mempunyai fenotipe biji bulat. Mendel melakukan percobaannya berulang kali, ternyata hasilnya sama seperti dapat dilihat tabel berikut ini.

Induk (P)	Keturunan (F1)	Keturunan 2 (F2)
Tinggi >< pendek Halus >< kisut Kuning >< hijau	Tinggi Halus Kuning	787 tinggi : 277 pendek 5474 halus : 1850 kisut 6022 kuning : 2000 hijau

Dari data tersebut dapat dilihat perbandingan rata-rata sifat dominan : resesif pada F2 adalah 3 : 1.

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan Mendel dengan fakta-fakta yang ada, maka muncullah Hukum I Mendel /Hukum Segregasi yang berbunyi : “Pada peristiwa pembentukan gamet, gen yang merupakan pasangannya memisah secara bebas”. Setiap sel gamet akan memperoleh satu gen dari pasangan tersebut. Kemudian Mendel membuat suatu kesimpulan seperti berikut.

- 1) Setiap sifat suatu organisme dikendalikan oleh satu pasang faktor keturunan yang dinamakan gen (pada waktu itu Mendel belum mengenal gen); yaitu satu faktor dari induk jantan dan satu faktor dari induk betina.
- 2) Setiap pasangan faktor keturunan menunjukkan bentuk alternatif sesamanya, misalnya bulat atau kisut. Kedua bentuk alternatif ini disebut *alel*.
- 3) Apabila pasangan faktor keturunan terdapat bersama-sama dalam satu tanaman, faktor dominan akan menutup faktor resesif.
- 4) Pada saat pembentukan gamet, yaitu pada proses meiosis, pasangan faktor atau masing-masing alel akan memisah secara bebas.
- 5) Individu galur murni mempunyai pasangan sifat (alel) yang sama, yaitu dominan atau resesif saja.

### • TUGAS KELOMPOK

Setelah Anda memahami percobaan Mendel, cobalah Anda menyilangkan biji ercis warna merah sebagai sifat dominan dan warna putih sebagai resesif. Persilangan ini menganut Hukum I Mendel. Buatlah diagram persilangannya dengan tabel dan tentukan hasil-hasilnya! Kerjakan di buku tugas Anda!

Selain tumbuhan, sifat dominan dan resesif juga terjadi pada manusia, seperti yang dimiliki dalam keluarga Anda. Dalam satu keluarga akan tampak sifat-sifat dominan dan sifat-sifat yang dapat tampak atau tidak tampak (resesif). Sifat-sifat apakah yang selalu muncul dan yang tidak muncul? Coba Anda lakukan kegiatan berikut ini!

## KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan** : Mengetahui sifat-sifat yang muncul dan yang tidak muncul pada keluarga

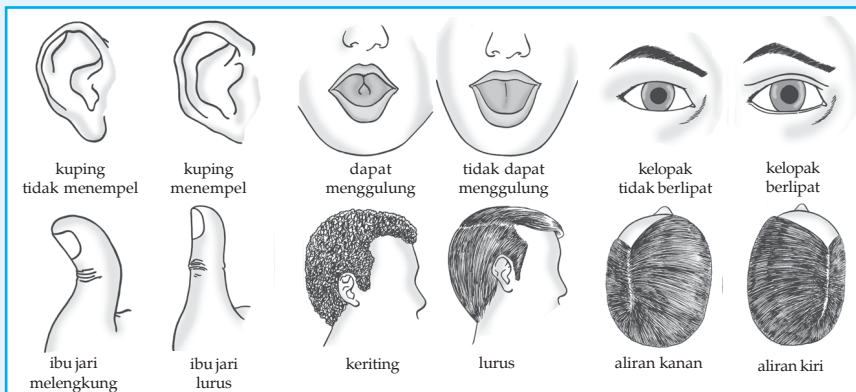
**Alat dan bahan** : Kertas dan pena

**Cara Kerja** :

1. Coba amati dan perhatikan sifat-sifat fisik yang terdapat pada seluruh keluarga Anda. Dapat dimulai dari kakek dan nenek sampai saudara sekandung Anda.
2. Perhatikan sifat-sifat yang muncul dan yang tidak muncul dari seluruh keluarga Anda. Misalnya, jenis rambut, bulu mata lentik, dan lain-lain.
3. Isikanlah hasil pengamatan Anda dalam tabel berikut ini!  
Salinlah tabel ini di buku tugas Anda!

No	Sifat-Sifat yang Diamati	Selalu Muncul	Tidak Muncul
1	Rambut lurus		
2	Alis tebal		
3	Hidung mancung		
4	Kulit hitam		
5	Mata sipit		
6	Kelopak berlipat		
7	Lidah dapat menggulung		
8	Kuping menempel		

4. Dari hasil pengamatan Anda, sifat-sifat manakah yang dominan dan yang resesif?
5. Kemudian cocokkan dengan data dari hasil pengamatan teman-teman Anda, lalu diskusikan!
6. Buatlah kesimpulannya, kemudian presentasikan di depan kelas!



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar beberapa sifat menurun manusia

## b. Sifat Intermediet

Mendel tidak hanya berhenti melakukan satu percobaan, tetapi selalu mengadakan percobaan-percobaan. Ketika mencoba menyilangkan bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) merah dan putih menghasilkan keturunan F1 merah muda. Setelah dilakukan persilangan sesama F1 ternyata menghasilkan keturunan F2 yaitu merah, merah muda, dan putih dengan perbandingan 1 : 2 : 1.

Dari hasil percobaan tampak dihasilkan keturunan dengan perpaduan sifat dari kedua induknya yaitu merah muda, warna ini disebut dengan sifat intermediet. Warna tersebut terjadi karena dominasi yang tidak sempurna dari warna merah tetapi masih menampakkan tanda warna merah dominan terhadap warna putih. Agar lebih jelas lihatlah skema dan diagramnya berikut ini!

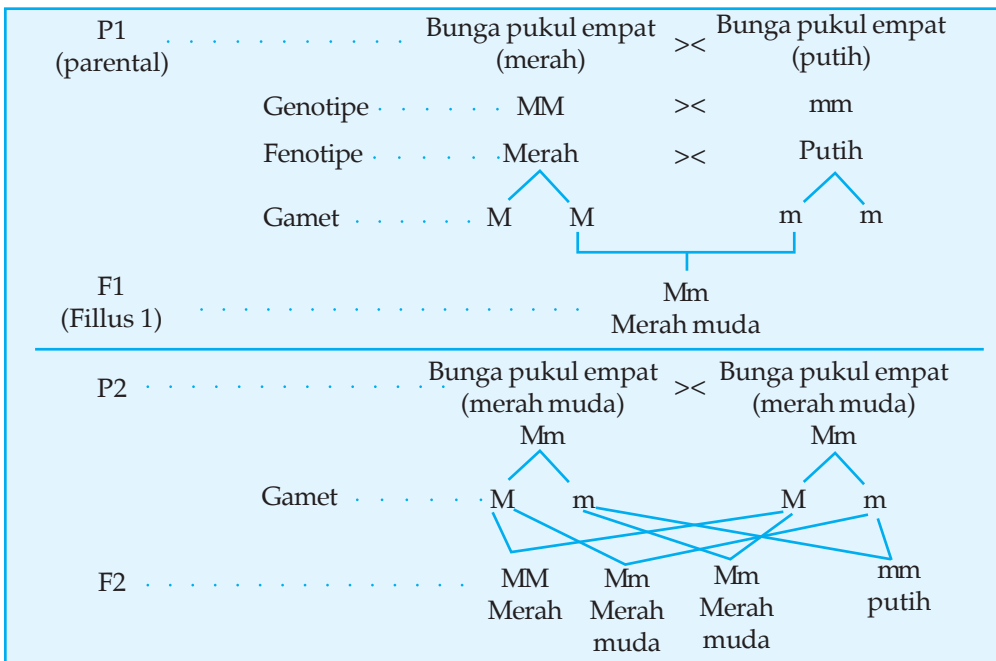


Diagram perkawinan

	M	m
M	MM Merah	Mm Merah muda
m	Mm Merah muda	mm Putih

Dari diagram dan tabel dapat dilihat perbandingan fenotipe dan F2 adalah 1 : 2 : 1 = merah : merah muda : putih, sedangkan perbandingan genotipnya F2 dapat dilihat 1 : 2 : 1 = MM : Mm : mm

### c. Genotipe dan Fenotipe

Mendel juga mengemukakan bahwa pada sifat yang dominan-dominan atau dominan-resesif akan muncul sifat yang fenotipe dominan, hanya individu yang mempunyai sifat resesif-resesif akan muncul fenotipe resesif. Seperti yang telah Anda pelajari di bagian depan bahwa genotipe BB dan Bb menunjukkan fenotipe bulat, sedangkan genotipe bb akan menunjukkan fenotipe keriput. Jadi, apakah yang dimaksud dengan genotipe dan fenotipe?

*Genotipe* merupakan sifat yang ditentukan oleh gen, dapat dikatakan sebagai sifat yang menurun dan diwariskan kepada keturunannya. Pengaruh genotipe ini bergantung pada lingkungannya.

*Fenotipe* merupakan paduan antara genotipe dengan lingkungannya, jadi sifat yang tampak dari luar. Coba Anda pikirkan, seseorang mempunyai bakat menjadi penari, apakah bakat tersebut akan menampilkan hasilnya jika tidak pernah diberi pelajaran menari?

Pelajaran menari dan les menari merupakan suatu lingkungan. Dari contoh tersebut dapat kita amati bahwa anak yang berbakat menari adalah genotipe, kemudian diberikan les menari merupakan lingkungan maka akan menampilkan keterampilan menari (fenotipe).

Coba Anda pikirkan bagaimana dengan anak yang pandai, syarat-syarat apa yang harus dimilikinya? Apakah kepandaian seseorang hanya berasal dari kedua orang tuanya?

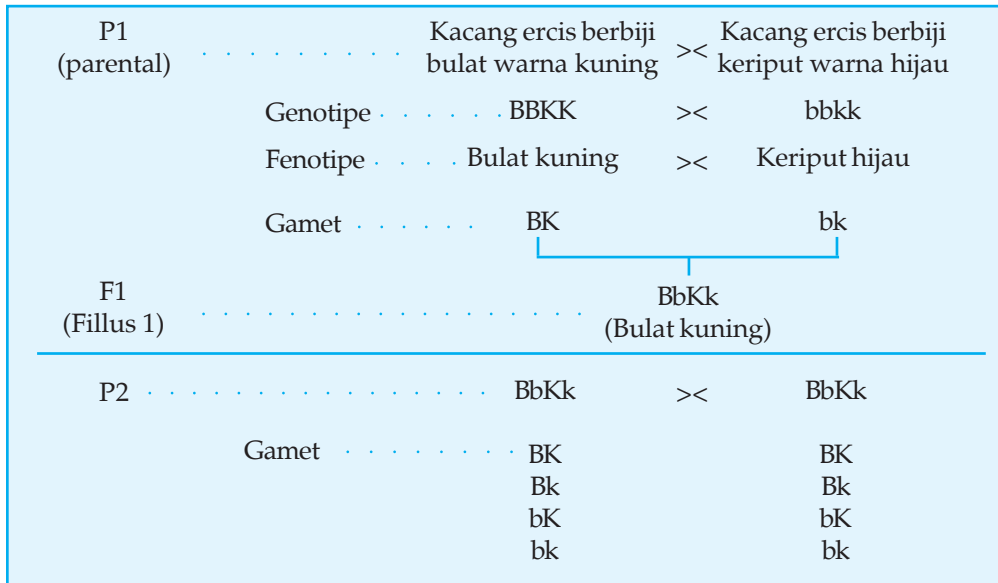
## 2. Hukum II Mendel (Persilangan Dihibrid)

Pada saat periode yang sama Mendel menyelidiki pewarisan, ia juga menyilangkan tanaman ercis yang berbeda dalam dua sifat, persilangan ini dinamakan *persilangan dihibrid*. Mendel menyilangkan varietas ercis berbiji bulat berwarna kuning dengan varietas ercis berbiji keriput berwarna hijau.

Keturunan pertama (F1) menghasilkan keturunan berbiji bulat warna kuning. Kemudian Mendel menyilangkan antara F1 yang menghasilkan keturunan F2 sebagai berikut :

- 315    varietas ercis berbiji bulat kuning
- 101    varietas ercis berbiji keriput kuning
- 108    varietas ercis berbiji bulat hijau
- 32    varietas ercis berbiji keriput hijau

Jika kita amati perbandingan antara tanaman tersebut yaitu perbandingan antara tanaman bulat kuning : keriput kuning : bulat hijau : keriput hijau = 9 : 3 : 3 : 1. Untuk lebih jelasnya lihat dan amati diagram berikut ini.



	BK	Bk	bK	bk
BK	1 BBKK	2 BBKk	3 BbKK	4 BbKk
Bk	5 BBKk	6 BBkk	7 BbKk	8 Bbkk
bK	9 BbKK	10 BbKk	11 bbKK	12 bbKk
bk	13 BbKk	14 Bbkk	15 bbKk	16 bbkk

Coba Anda perhatikan hasilnya!

- Pada nomor : 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13 dihasilkan tanaman varietas ercis berbiji bulat kuning yang jumlahnya ada 9.
- Pada nomor : 6, 8, 14 dihasilkan tanaman varietas ercis berbiji bulat hijau yang berjumlah 3.
- Pada nomor : 11, 12, 15 dihasilkan tanaman varietas ercis keriput kuning yang berjumlah 3.
- Pada nomor : 16 dihasilkan tanaman varietas ercis berbiji keriput hijau yang berjumlah 1.

Sehingga perbandingannya menghasilkan bulat kuning : bulat hijau : keriput kuning : keriput hijau = 9 : 3 : 3 : 1.

Coba Anda perhatikan pada kotak nomor 1, 6, 11, dan 16! Kotak-kotak itu merupakan tanaman homozigot, yaitu BBKK, BBkk, bbKK, dan bbkk, dan untuk kotak nomor yang lain adalah heterozigot, coba Anda sebutkan!

Perhatikan kotak nomor 6, yaitu varietas ercis berbiji bulat hijau dengan nomor 11 yaitu varietas ercis berbiji keriput kuning. Kedua individu tersebut mempunyai genotipe yang tidak dimiliki oleh kedua induknya, sehingga individu tersebut disebut sebagai individu baru (bastar konstan). Individu tersebut memiliki genotipe yang homozigot dan sifat itu muncul akibat perpaduan sifat kedua induknya.

Jika diperhatikan dan diamati, gen yang telah terpisah tersebut akan bergabung dengan gen dari induk lain pada saat perkawinan. Penggabungan tersebut terjadi secara acak dan bebas. Pada perkawinan ini tampak jelas bahwa gen-gen dapat berpasangan membentuk kombinasi yang beragam. Maka hal tersebut dikenal dengan Hukum II Mendel atau Hukum Pengelompokan Gen Secara Bebas (*The Law Independent Assortment of Genes*). Hal tersebut dituangkan dalam Hukum II Mendel yang berbunyi “Bila individu berbeda satu dengan yang lain dalam dua pasang sifat atau lebih, maka akan diturunkan sifat yang sepasang tak tergantung dari pasangan sifat yang lain”.

Setelah Anda memahami pelajaran ini, coba pikirkan, jika terjadi perkawinan antara orang Jawa yang berambut lurus, mempunyai kulit sawo matang dengan orang Flores yang berambut keriting, berkulit hitam. Bagaimana kemungkinan keturunannya? Apakah mempunyai sifat-sifat yang sama dengan kedua orang tuanya? Diskusikan dengan teman-teman Anda, kemudian presentasikan di depan kelas!

### 3. Persilangan dengan Lebih dari Dua Sifat Beda

Jika kita perhatikan, kemungkinan genotipe dan fenotipe pada F<sub>2</sub> dalam persilangan monohibrid gamet yang terbentuk pada F<sub>1</sub> ada 2 macam dan fenotipenya ada 2 macam dengan perbandingan 3 : 1. Pada perbandingan dihibrida gamet yang terbentuk pada F<sub>1</sub> sebanyak 4 macam dan fenotipe sebanyak 4 macam dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. Jika kita melakukan persilangan dengan tiga sifat beda (trihibrid), misalnya AABbCC disilangkan dengan individu tersebut yang bergenotipe aabbcc maka F<sub>1</sub> nya adalah AaBbCc. P<sub>2</sub> akan menghasilkan gamet sebanyak 8 macam yaitu ABC, ABc, AbC, Abc, aBC, aBc, abC, dan abc. Dengan demikian F<sub>2</sub> akan menghasilkan sebanyak 64 keturunan atau 8<sup>2</sup>. Bagaimana dengan persilangan trihibrida dan seterusnya? Untuk menentukannya dapat menggunakan metode segitiga Pascal, lihat Tabel 5.3!

**Tabel 5.3 Hubungan antara Jumlah Sifat Beda dengan Banyaknya Macam Gamet F1 dan Perbandingan F2**

Jumlah Sifat Beda	Jumlah Macam Gamet	Jumlah Macam Genotipe F2	Kemungkinan Fenotipe F2	Perbandingan Fenotipe F2
1	$2^1 = 2$	3	2	3 : 1
2	$2^2 = 4$	9	4	9 : 3 : 3 : 1
3	$2^3 = 8$	27	8	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1
n	$2^n$	$3^n$	$2^n$	$3n : \text{dst}$

### TUGAS INDIVIDU

Setelah Anda mempelajari materi di atas, coba Anda menyilangkan antara kacang ercis berbiji halus berwarna kuning (HHKK) dengan kacang ercis berbiji kisut berwarna hijau (hhkk) menggunakan Hukum Mendel II, buatlah diagram perkawinannya dan perbandingan genotipe dan fenotipnya.

1. Berapakah individu yang bergenotipe homozigot dan heterozigot?
2. Berapakah individu homozigot dominan dan individu homozigot resesif?
3. Apa kesimpulan yang Anda dapatkan dari persilangan ini?
4. Tuliskan hasilnya di buku tugas Anda!

## 4. Persilangan Resiprok, Backcross, dan Testcross

Selain persilangan monohibrid dan dihibrid, dikenal juga persilangan resiprok, backcross, dan testcross.

### a. Persilangan Resiprok

Apa yang dimaksud dengan persilangan resiprok? Persilangan resiprok mempunyai pengertian bahwa dalam suatu persilangan berlaku sama pada jenis kelamin jantan dan betina, yang berarti baik jantan maupun betina mendapatkan kesempatan sama dalam pewarisan sifat. Misalnya, persilangan antara bunga kuning dan bunga merah akan menghasilkan keturunan yang sama meskipun serbuk sari diambil dari bunga kuning atau merah.



## b. Persilangan Backcross

Apabila Anda mengawinkan F1 dengan salah satu induknya, baik dari induk homozigot dominan maupun resesif, maka persilangan ini disebut dengan *backcross*. Tujuan mengadakan perkawinan ini adalah untuk mengetahui genotipe induknya. Agar lebih jelas perhatikan contoh di bawah ini!

Contoh:

a.	P3	(Mm)	><	Induk (?)
		(merah)		(putih)
	Gamet	M		m
		m		m
	Hasil	Mm		mm
		(merah)		(putih)

Hasilnya merah : putih = 1 : 1,  
berarti induknya bergenotipe mm.

b.	P	Mm	><	Induk (?)
		(Merah)		merah
	Gamet	M		M
		m		M
	Hasil	Mm		MM
		(merah)		(merah)

Karena hasilnya merah semua, berarti induknya bergenotipe MM (merah).

## c. Persilangan Testcross

Apabila Anda mengawinkan F1 (keturunan pertama) dengan induk yang homozigot resesif, persilangan ini disebut sebagai persilangan testcross. Testcross bertujuan untuk mengetahui jenis individu yang diuji, tergolong homozigot atau heterozigot. Jika hasil persilangan ini mempunyai hasil perbandingan fenotipe keturunan memisah, maka individu yang diuji adalah heterozigot, tetapi jika uji silangnya 100% berfenotipe sama maka individu yang diuji adalah homozigot.

Perhatikan contoh berikut agar lebih jelas!

Contoh:

a.	P.	?	><	kk
		(kuning)		(hijau)
	Gamet	..... K		k
		k		k
	Hasil	..... KK		kk
		(50 % kuning)		(50 % hijau)
Dapat kita lihat hasil persilangan menunjukkan 50% kuning dan 50% hijau, berarti individu tersebut heterozigot (Kk).				
b.	P.	?	><	kk
		(kuning)		(hijau)
	Gamet	..... K		k
		K		k
	Hasil	..... (kuning 100%)		
Dapat kita lihat keturunannya 100 % kuning, berarti individu tersebut homozigot dominan (KK).				

## • TUGAS KELOMPOK

- Coba Anda silangkan tanaman biji bulat berwarna kuning dengan biji keriput berwarna hijau. Keturunan pertama adalah semua tanaman berbiji bulat berwarna kuning.
  - Bagaimana genotipe kedua induknya?
  - Sebutkan macam-macam gametnya!
  - Bagaimana rasio persilangannya? Buatlah dengan bagan!
- Kelinci putih berkaki hitam disilangkan dengan kelinci hitam berkaki putih. Keturunan pertama adalah semua kelinci putih berkaki putih.
  - Bagaimana genotipe kedua induknya?
  - Sebutkan macam-macam gametnya!
  - Bagaimana rasio persilangannya? Buatlah dengan bagan!
- Coba Anda diskusikan bersama kelompok dan tulis hasil diskusi di buku tugas Anda, bila kurang jelas tanyakan pada guru Anda!

## B PENYIMPANGAN SEMU HUKUM MENDEL

Dalam pola-pola hereditas, **Sutton** (sarjana Amerika) adalah orang yang pertama kali mendalami masalah pola-pola hereditas berpendapat sebagai berikut.

1. Jumlah kromosom yang terkandung dalam sel telur dan sel sperma adalah sama, yaitu masing-masing setengah jumlah kromosom yang dikandung oleh setiap sel induknya.
2. Organisme hasil pembuahan bersifat *diploid* (setiap selnya mengandung 2 perangkat kromosom).
3. Dalam peristiwa *meiosis*, yaitu kedua perangkat kromosom memisah secara bebas dan mengelompok secara bebas dengan kromosom lain yang bukan homolognya.
4. Bentuk dan identitas setiap kromosom adalah tetap, gen sebagai satu kesatuan faktor penurunan sifat adalah mantap walaupun mengalami peristiwa mitosis atau meiosis.

Pola hereditas yang dikemukakan **Sutton** merupakan penegasan terhadap hukum Mendel. Berdasarkan hasil penelitian Mendel, pada pembastaran dengan satu sifat beda (monohibrid), ratio fenotipe F2 adalah 12:1 jika kasusnya intermediet dan 3:1 jika kasusnya dominan penuh.

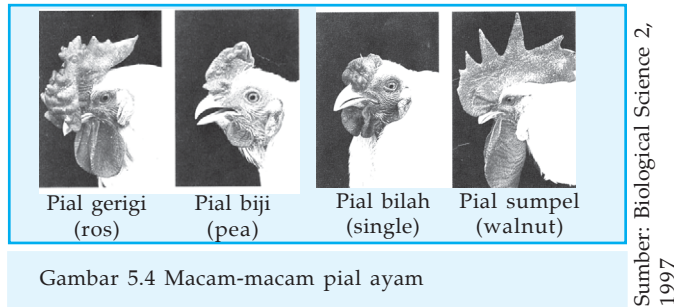
Pada pembastaran dihibrid, fenotipe F2 terdiri atas 4 macam, dengan ratio 9:3:3:1. Perbandingan tersebut bersifat umum dan akan selalu demikian, apabila setiap gen memiliki pekerjaan sendiri-sendiri untuk menumbuhkan karakter. Dalam kenyataannya, para ilmuwan sering menemukan angka perbandingan lain, yang sekilas tampak berbeda dan menyimpang dari hukum Mendel, seperti perbandingan fenotipe F2 dari persilangan dihibrid diperoleh 9:3:4:9:7, 12:3:1:9:6:1, 15:1 dan lain-lain. Apabila dicermati, ternyata, angka-angka yang muncul tersebut merupakan hasil penggabungan dari angka yang dikemukakan oleh Mendel. Berikut adalah beberapa peristiwa mengenai perubahan atau penyimpangan yang terjadi pada gen atau kromosom, sehingga hasil perkawinan suatu pasangan induk seolah-olah menyimpang dari hukum Mendel.

Apabila diteliti lebih lanjut, ternyata angka-angka perbandingan itu tidak lain adalah penggabungan dari beberapa angka perbandingan yang semula ditemukan oleh Mendel, yaitu  $(9+3) : 3 : 1$ ,  $9 : 3 : (3+1)$ ,  $9 : (3+3+1)$ ,  $9 : (3+3) : 1$ ,  $(9+3+3) : 1$ , dan seterusnya. Karena alasan itulah maka disebut *penyimpangan semu*.

## 1. Interaksi dari Beberapa Gen (Atavisme)

Pada ayam dikenal 4 macam bentuk *pial* (*jengger*), yaitu:

- pial gerigi (ros),
- pial biji (pea),
- pial bilah (single),
- pial sumpel (walnut).



Gambar 5.4 Macam-macam pial ayam

Sifat pial bilah adalah resesif, baik terhadap pial gerigi (ros) maupun terhadap pial biji (pea). Pial-pial tersebut dapat disilangkan satu sama lain sebagai berikut.

- Apabila ayam berpial gerigi galur murni disilangkan dengan ayam berpial bilah, maka F1 100% berpial gerigi dan F2 terdiri atas 75 % gerigi dan 25 % bilah. Ini berarti bahwa pial gerigi dominan terhadap pial bilah.
- Apabila ayam berpial biji galur murni disilangkan dengan ayam berpial gerigi bilah, maka F1 100 % berpial biji dan F2 terdiri atas 75 % berpial biji dan 25 % bilah ini berarti bahwa pial biji dominan terhadap pial bilah.
- Apabila ayam berpial biji galur murni disilangkan dengan ayam berpial gerigi galur murni, maka F1 100% berpial sumpel (walnut). Jadi sifat pialnya berbeda dengan induk jantan maupun induk betina. Sedangkan pada F2-nya diperoleh 4 macam fenotipe dengan perbandingan sebagai berikut pial sumpel : pial gerigi : pial biji : pial bilah = 9:3:3:1.

Penyimpangan di sini tidak menyangkut perbandingan fenotipe pada F2 tetapi muncul 2 sifat baru yang berbeda dengan kedua induknya, yaitu *sumpel* dan *bilah*, seperti tampak pada diagram berikut.

Perhatikan penyimpangan pada penyilangan antara ayam berpial rose dan pial biji berikut!

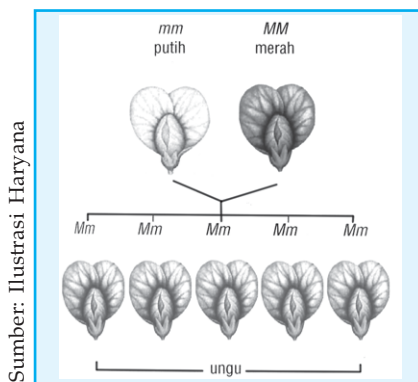




Keterangan:

No	Genotipe	Jumlah Gen Warna Merah	Fenotipe	Frekuensi
1	M1M1M2M2	4	Merah Tua	1/16
2, 3, 5, 9	M1M1M2m2 M1m1M2M2	3	Merah Sedang Merah Sedang	4/16
6	M1M1m2m2	1	Merah Muda	1/16
4, 7, 10, 13	M1m1M2m2	4	Merah Muda	4/16
11	m1m1M2M2	1	Merah Muda	1/16
8, 12, 14	M1m1m2m2	3	Merah Muda Sekali	3/16
15	m1m1M2m2	1	Merah Muda Sekali	1/16
16	m1m1m2m2	0	Putih	1/16

### 3. Kriptomeri



Gambar 5.5 Contoh kriptomeri pada bunga merah dan bunga putih

Kriptomeri adalah gen dominan yang seolah-olah tersembunyi apabila berdiri sendiri-sendiri dan pengaruhnya baru tampak apabila bersama-sama dengan gen dominan lainnya. Correns pernah menyilangkan tumbuhan *Linaria maroccana* berbunga merah galur murni dengan yang berbunga putih juga galur murni. Diperoleh F1 semua berbunga ungu, sedangkan F2 terdiri atas tanaman *Linaria maroccana* berbunga ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.

Berdasarkan penyelidikan terhadap plasma sel bunga *Linaria*, ternyata warna

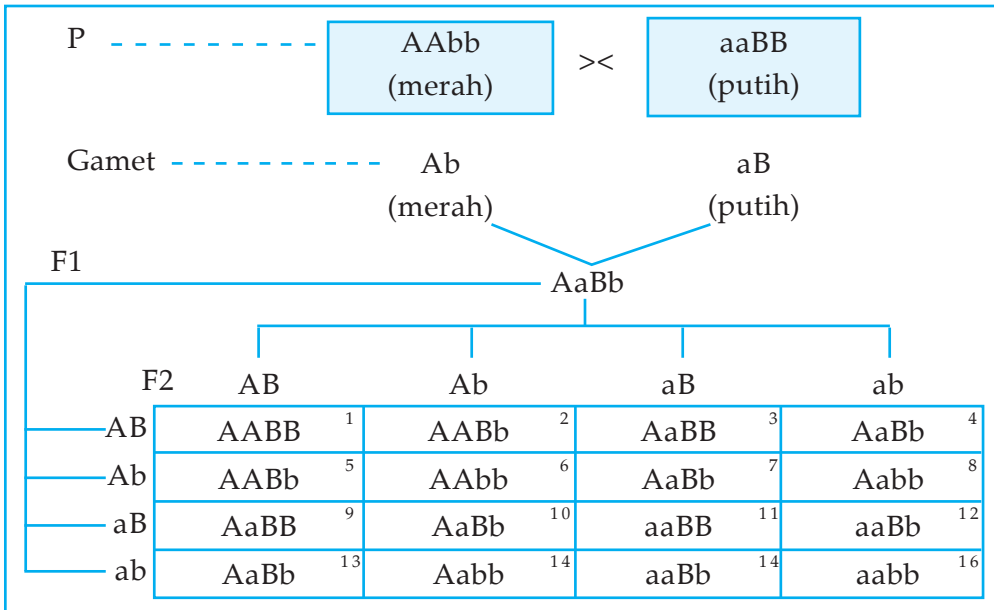
merah disebabkan oleh adanya pigmen *antosianin* dalam lingkungan plasma sel yang bersifat asam, sedangkan dalam lingkungan basa akan memberikan warna ungu. Tetapi apabila dalam plasma sel tidak terdapat antosianin, dalam lingkungan asam atau basa tetap akan membentuk warna putih.

Apabila :

- A = ada bahan dasar pigmen antosianin,
- a = tidak ada bahan dasar pigmen antosianin,
- B = reaksi plasma sel bersifat basa, dan
- b = reaksi plasma sel bersifat asam.

Gen A dominan terhadap a, dan gen B dominan terhadap b, sehingga diagram persilangannya dapat digambarkan, seperti pada diagram berikut.

Perhatikan diagram peristiwa kriptomeri pada *Linaria maroccana* yang menghasilkan kombinasi ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.



Individu genotipe F2 mempunyai:

- A.B (antosianin dalam lingkungan basa) warna bunganya ungu sebanyak 9 kombinasi.
- A.bb (antosianin dalam lingkungan asam) warna bunganya merah sebanyak 3 kombinasi.
- aaB. dan aa bb (tidak mengandung antosianin) warna bunganya putih sebanyak 4 kombinasi.

#### 4. Epistasis dan Hipostasis

Epistasis dan hipostasis adalah salah satu bentuk interaksi antara gen dominan mengalahkan gen dominan lainnya yang bukan sealel. Gen dominan yang menutup gen dominan lainnya disebut *epistasis* dan gen dominan yang tertutup itu disebut *hipostasis*.

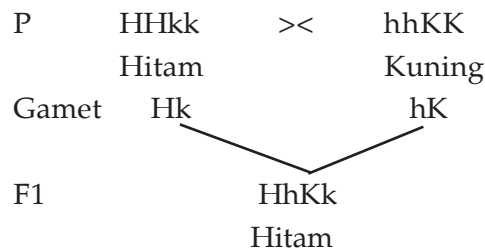
Peristiwa ini terjadi baik pada tumbuhan, hewan, maupun manusia. Pada tumbuhan, peristiwa epistasis dan hipostasis dijumpai pada warna kulit gandum dan warna kulit labu *squash*, sedangkan pada hewan dapat dijumpai bulu mencit. Pada manusia, peristiwa tersebut juga dapat dijumpai misalnya pada warna mata.



**Nelson Ehle** mengadakan percobaan persilangan dengan objek tanaman gandum. Gandum berkulit biji hitam disilangkan dengan gandum berkulit putih kuning. Hasilnya (F1) 100% berkulit biji hitam. Pada F2 diharapkan akan dihasilkan keturunan dengan fenotipe 75% hitam dan 25% kuning, tetapi ternyata tidak demikian, hasil yang diperoleh mempunyai perbandingan sebagai berikut 12 hitam : 3 kuning : 1 putih. Persilangan ini mirip prinsip Mendel yaitu  $(9 + 3) : 3 : 1$ .

Setelah dianalisis, ternyata gen yang menimbulkan pigmentasi hitam dan kuning berdiri sendiri-sendiri dan keduanya merupakan faktor dominan terhadap faktor putih. Jadi, gen H (hitam) dominan terhadap h (putih) gen K (kuning) dominan terhadap k (putih).

Perhatikan diagram persilangan antara gandum berkulit biji hitam HHkk dengan gandum berkulit biji kuning hhKK berikut!



Genotipe F1 Hhkk fenotipenya adalah hitam. Ini menunjukkan bahwa faktor H menutup faktor K, faktor H disebut epistasis dan faktor K disebut hipostasis. Jika F1 mengadakan meiosis akan menghasilkan gamet Hk, Hk, hK, dan hk, sehingga kemungkinan kombinasi F2 adalah seperti diagram berikut.

Peristiwa hipostasis dan epistasis menghasilkan kombinasi yaitu hitam : kuning : putih = 12 : 3 : 1.

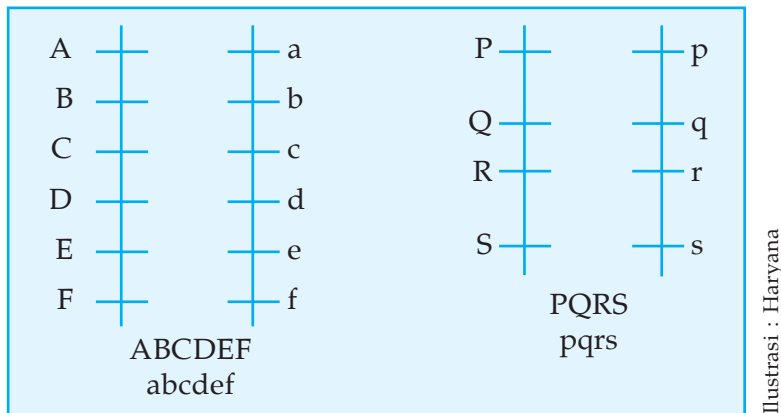
	HK	Hk	hK	hk
HK	HHKK <sup>1</sup>	HHKk <sup>2</sup>	HhKK <sup>3</sup>	HhKk <sup>4</sup>
Hk	HHKk <sup>5</sup>	HHkk <sup>6</sup>	HhKk <sup>7</sup>	Hhkk <sup>8</sup>
hK	HhKK <sup>9</sup>	HhKk <sup>10</sup>	hhKK <sup>11</sup>	hhKk <sup>12</sup>
hk	HhKk <sup>13</sup>	Hhkk <sup>14</sup>	hhKk <sup>14</sup>	hhkk <sup>16</sup>

Keterangan :

Semua kombinasi yang mengandung H, fenotipenya adalah hitam. Kombinasi yang mengandung faktor dominan K hanya menampakkan warna kuning jika bersama faktor H. Kemungkinan kombinasi 1/16 adalah kombinasi dua faktor resesif dari kedua pasangan alel hhkk. Individu ini tidak mengandung faktor dominan dan menampakkan warna putih. Ini adalah jenis homozigot baru yang hanya mungkin timbul dari persilangan dihibrid.

## 5. Tautan

Di dalam setiap kromosom tersimpan ratusan gen yang dapat menimbulkan suatu sifat bersama-sama. Dua atau lebih gen yang menempati kromosom yang sama disebut *terpaut* atau *linkage*. Peristiwa terbentuknya gen tertaut ini disebut tautan, seperti terlihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.

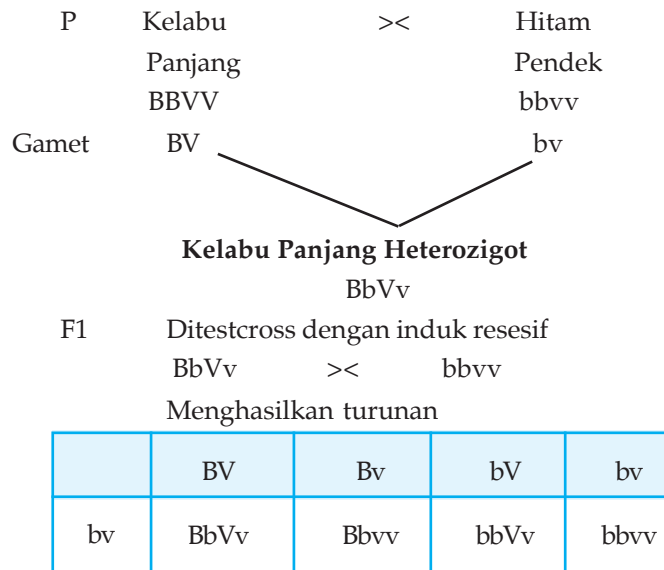


Gambar 5.6 Gen dan alel yang terletak pada sepasang kromosom

Gambar 5.6 memperlihatkan gen-gen yang terletak pada masing-masing kromosom yaitu A, B, C, D atau F dan membentuk 1 rangkaian, begitupun dengan alelnya yaitu a, b, c, d, e, dan f. Peristiwa tautan dikemukakan oleh **Morgan** pada percobaannya mengenai persilangan lalat buah (*Drosophila melanogaster*) yang memiliki perbedaan morfologis, seperti bentuk sayap, warna tubuh, dan warna mata. Dalam percobaannya Morgan menyilangkan *Drosophila* betina normal berwarna tubuh kelabu dan bersayap panjang dengan *Drosophila* jantan tak normal yang berwarna tubuh hitam dan tak bersayap. Dari persilangan itu, Morgan mendapat persilangan F1 yang berwarna tubuh kelabu dan bersayap panjang. Jika pada F1 individu jantan ditestcross dengan induk resesif maka keturunannya hanya terdiri atas 2 kelas, yakni kelabu-panjang dan hitam-pendek dengan rasio fenotipe 1:1.

Jika b dan v atau B dan V merupakan alel yang terdapat pada pasangan kromosom yang berbeda, perhatikan persilangan di bawah ini!

Persilangan: Gen dan alel yang terletak pada pasangan kromosom yang berbeda



Keterangan:

BbVv = *Drosophila* kelabu-bersayap panjang

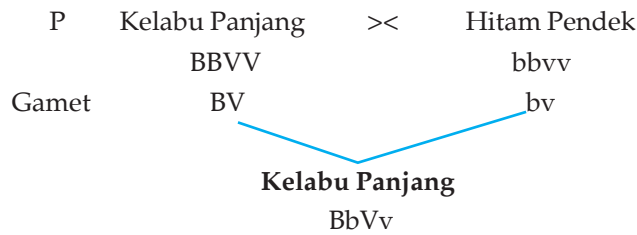
Bbvv = *Drosophila* kelabu-bersayap pendek

bbVv = *Drosophila* hitam-bersayap panjang

bbvv = *Drosophila* hitam-bersayap pendek

Jadi, seharusnya persilangan tersebut menghasilkan rasio fenotipe 1:1:1:1. Hal ini disebabkan kromosom yang mengandung alel B atau b dan alel V atau v yang pergi ke kutub atas atau bawah pada meiosis sama besar. Oleh karena itu, rasio macam gamet, baik kombinasi parental maupun rekombinannya sama. Tetapi, hal itu tidak terlihat pada hasil penemuan Morgan sebab BV dan bv tertaut dalam satu kromosom, sehingga saat meiosis dihasilkan 2 variasi gamet BV dan bv. Turunan pertama atau F1 bergenotipe BbVv, berwarna kelabu-sayap panjang, terlihat seperti pada persilangan berikut ini.

Persilangan: Gen dan alel yang terletak pada pasangan kromosom yang berbeda



F1 Ditest cross dengan induk resesif  
BbVv >< bbvv

Menghasilkan turunan

	BV	-	-	bv
bv	BbVv	-	-	bbvv

Keterangan :

BbVv = *Drosophila* kelabu-bersayap panjang

bbvv = *Drosophila* hitam-bersayap pendek

Rasio fenotipe hasil testcross ialah kelabu-sayap panjang : hitam-sayap pendek 1:1. Ini berarti macam gamet rekombinan tidak muncul, sebab b bertaut V, b bertaut v, sehingga gamet yang dihasilkan F1 hanya BV dengan bv. Karena rasio gamet BV dengan bv 1:1 maka rasio fenotipe hasil testcross. Bbvv : bbvv = lalat buah kelabu-sayap panjang : hitam-sayap pendek = 1:1.

Penemuan Morgan ini menunjukkan bahwa gen BV dan bv bukan terletak pada kromosom berbeda, tetapi pada kromosom yang sama, artinya bertaut.

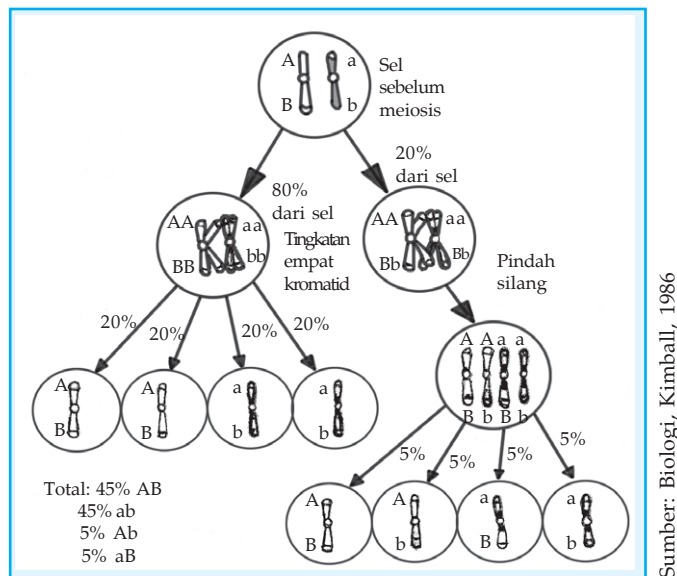
## 6. Pindah Silang

Pada peristiwa meiosis, kromatid yang berdekatan dari kromosom homolog tidak selalu berjajar berpasangan dan beraturan, tetapi kadang-kadang saling melilit satu dengan lainnya. Hal ini menyebabkan sering terjadi sebagian gen-gen suatu kromatid tertukar dengan gen-gen kromatid homolognya. Peristiwa ini disebut dengan pindah saling atau *crossing over*.

Gambar 5.7 memperlihatkan terjadinya pembelahan meiosis. Sel-sel yang mengadakan pembelahan bergenotipe AaBb. Gen A bertaut dengan gen B, sedangkan gen a bertaut dengan gen b. Apabila tidak terjadi peristiwa pindah silang maka sel-sel anakan yang terbentuk akan mempunyai

susunan gen AB dan ab dengan rasio 50%:50% atau 1:1 yang semuanya terdiri atas kombinasi parental (KP). Tetapi, apabila sebagian sel yang membelah mengalami pindah silang maka di samping kombinasi parental, akan terbentuk pula rekombinan atau kombinasi baru (RK) yang frekuensinya masing-masing ditentukan oleh frekuensi sel yang mengalami pindah silang.

Selama meiosis, pindah silang dapat terjadi antara gen-gen dalam kromosom yang sama. Jumlah pindah silang yang terjadi tergantung pada jarak antara gen-gen itu, seperti tampak pada Gambar 5.7.



Sumber: Biologi, Kimball, 1986

Gambar 5.7 Pindah silang

Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa sel yang mengalami pindah silang sebanyak 20% dari jumlah sel yang membelah. Hal ini berarti 80% sel lainnya tidak mengalami pindah silang, sehingga kombinasi sel gamet yang dihasilkan dapat dihitung sebagai berikut.

Keterangan:

- Untuk kelompok sel yang tidak mengalami pindah silang yaitu sebanyak 80%. Setiap sel yang membelah dalam kelompok ini akan menghasilkan 4 sel baru yang haploid. Sel baru ini terdiri atas 2 macam kombinasi, yaitu AB dan ab, dengan rasio 50% AB : 50% ab. Jadi frekuensi gamet  $AB = 50\% \times 80\% = 40\%$  dan frekuensi gamet  $ab = 50\% \times 80\% = 40\%$ .

- b. Untuk kelompok sel yang mengalami pindah silang, yaitu sebanyak 20%, setiap selnya menghasilkan 4 sel gamet baru dengan kombinasi AB, Ab, aB terbentuk karena adanya peristiwa pindah silang.

Berdasarkan hal tersebut maka frekuensi masing-masing kombinasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} AB &= 25\% \times 20\% = 5\% & ; & \quad Ab = 25\% \times 20\% = 5\% \\ aB &= 25\% \times 20\% = 5\% & ; & \quad ab = 25\% \times 20\% = 5\% \end{aligned}$$

Apabila peristiwa a dan b digabungkan, maka akan dihasilkan macam dan frekuensi kombinasi sebagai berikut:

$$AB = 40\% + 5\% = 45\% \quad ; \quad Ab = 40\% + 5\% = 45\%$$

AB dan ab yang merupakan kombinasi parental (KP), frekuensinya 90%.

$$Ab = 5\% \quad ; \quad aB = 5\%$$

Ab dan aB yang merupakan kombinasi baru atau rekombinan (RK), frekuensinya 5%.

Berdasarkan uraian di atas dapat diketahui bahwa apabila dalam peristiwa tautan tidak terjadi pindah silang, maka semua susunan gen pada sel gametnya merupakan kombinasi parental, tetapi apabila dalam peristiwa ini terjadi pindah silang maka susunan gen pada sel gametnya terdiri atas 2 jenis yakni kombinasi parental dan dihasilkan F1 ada 4 macam, yaitu AB, ab, Ab, dan aB. AB dan ab merupakan kombinasi parental, sedangkan Ab dan aB merupakan rekombinan. Pada peristiwa pindah silang ini frekuensi kombinasi parental (KP) lebih dari 50% dan frekuensi rekombinan (RK) kurang dari 50%. Kombinasi baru atau rekombinan yang terbentuk pada peristiwa pindah silang frekuensinya selalu lebih kecil daripada kombinasi parental ( $RK < KP$ ).

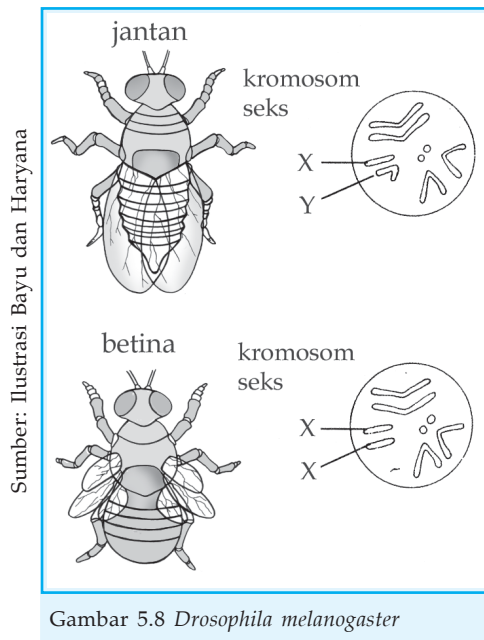
## 7. Tautan Seks

**Morgan** pernah menyilangkan lalat betina bermata merah dengan lalat jantan bermata putih. Hasilnya adalah bahwa keturunan F1 100% bermata merah, sedangkan keturunan F2 75% bermata merah dan 25% bermata putih. Tetapi, yang bermata putih selalu jantan walaupun percobaan tersebut berulang-ulang dilakukan, tetapi hasilnya selalu sama. Berdasarkan hasil tersebut Morgan menyusun hipotesis sebagai berikut.

- Faktor warna mata merah langsung dominan terhadap faktor warna mata putih.
- Gen yang bertanggung jawab atas warna mata ini terkandung di dalam kromosom X.
- Di dalam kromosom Y tidak terdapat gen yang bertanggung jawab atas warna mata.

Selanjutnya, Morgan menyatakan bahwa gen atau sifat yang tergantung pada kromosom seks ini disebut tertaut seks, seperti dalam diagram dengan penjelasan, keturunan F1 semua bermata merah, baik jantan maupun betina, sedangkan keturunan F2 75% bermata merah dan 25% bermata putih. Yang bermata putih selalu jantan, bukan berarti yang jantan selalu bermata putih.

## 8. Gagal Berpisah dengan Letal



Gagal berpisah merupakan peristiwa gagalnya satu atau lebih kromosom untuk berpisah pada waktu meiosis (pembentukan gamet) dan menyebabkan jumlah kromosom berubah, baik gamet dan atau individu baru berakhir dengan jumlah kromosom yang abnormal, misalnya dapat terjadi aneuploidi atau poliploidi.

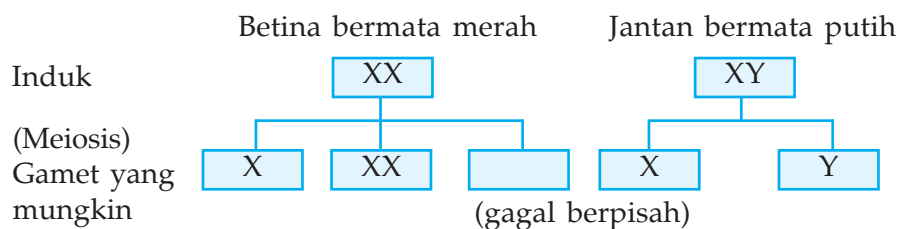
*Aneuploidi* merupakan suatu keadaan keturunan memiliki satu kromosom lebih atau satu kromosom kurang dari jumlah kromosom yang dimiliki tetuanya. Hal tersebut dapat terjadi pada sel diploid yang mendapat satu tambahan satu kromosom ( $n + 1$ ), selanjutnya jika gamet tersebut bersatu dengan gamet lain

yang normal maka individu baru akan berkromosom ( $2n + 1$ ) yang disebut *trisomi*. Sebaliknya, jika sebuah gamet yang kekurangan satu kromosom bersatu dengan gamet normal maka individu baru tersebut memiliki jumlah kromosom ( $2n - 1$ ) dan disebut *monosomi*.

Adapun *poliploidi* adalah keturunan yang memiliki kelipatan jumlah kromosom dari tetuanya, artinya tiga kali atau lebih dari setiap haploid kromosom yang khas dimiliki tetuanya. Jika gamet yang dihasilkan diploid ( $2n$ ) dan bersatu dengan gamet normal haploid ( $n$ ), maka hasil setelah fertilisasi adalah individu  $3n$  atau triploid, dan jika dua gamet diploid bersatu adalah individu  $4n$  atau tetraploid.

Gagal berpisah letal adalah gen letal (gen yang menyebabkan kematian pada suatu individu yang memilikinya) yaitu gagal satu atau lebih kromosom untuk berpisah pada peristiwa meiosis. Contoh gagal berpisah yang terjadi pada lalat buah seperti pada diagram berikut.

Peristiwa gagal berpisah pada persilangan lalat buah (*Drosophila melanogaster*) antara betina bermata merah dengan jantan bermata putih.



Penjelasan:

	X	XX	
X	XX	XXX	X
Y	XY	XXY	Y

Keterangan :

1. Nomor 1 kromosom seks XX adalah betina bermata merah dan nomor 6 kromosom seks XY adalah jantan bermata putih (yang diharapkan).
2. Nomor 2 kromosom seks XXX adalah betina super dan nomor 5 kromosom seks XXY betina bermata putih (pengecualian pertama).
3. Nomor 3 kromosom seks X dari jantan bermata merah (pengecualian kedua) dan nomor 4 kromosom seks Y berkelamin jantan dan mati (letal).

## C HEREDITAS PADA MANUSIA

Kita sudah mempelajari hereditas pada tumbuhan dan hewan, pola-pola pewarisan sifat berlaku juga pada manusia. Coba Anda perhatikan dan amati diri kita sendiri serta lingkungan sekitar! Apa saja yang Anda dapatkan dari sifat hereditas pada manusia yang diwariskan? Sifat hereditas pada manusia di antaranya adalah cacat dan penyakit. Cacat dan penyakit menurun merupakan sifat yang diwariskan kepada keturunannya. Cacat



dan penyakit menurun ini tidak bisa menular, serta tidak dapat disembuhkan, tetapi hanya dapat ditanggulangi. Berikut ini beberapa contoh dari hereditas pada manusia.

## 1. Golongan Darah

**Berstein** seorang berkebangsaan Jerman dan **Furuhata**, seorang berkebangsaan Jepang adalah tokoh yang pernah mengemukakan hipotesis bahwa hanya sepasang gen pada individu yang bertanggung jawab atas golongan darahnya. Penggolongan darahnya tersebut didasarkan pada adanya aglutinogen (antigen) tertentu di dalam sel darah merah. Adanya antigen tersebut dalam sel darah merah bersifat menurun sebab dikendalikan oleh gen.

Kita mengenal beberapa sistem penggolongan darah, di antaranya adalah:

- a. sistem A, B, O;
- b. sistem M N, dan;
- c. sistem Rhesus (Rh).

### a. Penggolongan Darah Menurut Sistem A, B, O

Menurut sistem ini, golongan darah manusia dibedakan atas 4 macam, yaitu sebagai berikut.

- 1) Golongan darah A apabila dalam sel darah merahnya terdapat antigen A. Adanya antigen tersebut dikendalikan oleh gen  $I^A$ .
- 2) Golongan darah B apabila dalam sel darah merahnya terdapat antigen B. Adanya antigen tersebut dikendalikan oleh gen  $I^B$ .
- 3) Golongan darah A dan B apabila dalam sel darah merahnya terdapat antigen A dan B, masing-masing kemunculannya dikendalikan oleh gen  $I^A$  dan  $I^B$ .
- 4) Golongan darah O apabila dalam sel darah merahnya tidak terdapat antigen A atau B. Keadaan ini timbal balik karena dikendalikan oleh gen  $I^O$  yang bersifat sensitif, baik terhadap gen  $I^A$  maupun gen  $I^B$ .

Jadi, gen  $I^A$  dan  $I^B$  adalah 2 gen yang bersifat kodominan. Berdasarkan uraian tersebut, maka dapat dibuat tabel hubungan antara fenotipe golongan darah, genotipe, dan kemungkinan sel gametnya (lihat Tabel 5.4)

**Tabel 5.4 Hubungan antara Fenotipe Golongan Darah Sistem A,B,O, Genotipe dan Kemungkinan Macam Gamet**

Fenotipe Golongan Darah	Genotipe	Kemungkinan Macam Sel Gamet
A	$I^A I^A, I^A I^O$	$I^A, I^O$
B	$I^B I^B, I^B I^O$	$I^B, I^O$
AB	$I^A I^B$	$I^A, I^B$
O	$I^O I^O$	$I^O$
4 macam	6 macam	3 macam

Dengan memperhatikan tabel di atas maka dapat pula dibuat tabel golongan darah orang tua, beserta golongan darah yang mungkin dan golongan darah yang tidak mungkin pada anak-anaknya.

**Tabel 5.5 Golongan Darah Orang Tua dan Kemungkinan atau Tidak Mungkin pada Golongan Darah Anak-anaknya**

Fenotipe Golongan Darah Orang Tua	Kemungkinan Golongan Darah Anak-anaknya	Golongan Darah Yang Tidak Mungkin Ada
O X O	O	A, B, AB
O X A	A, O	B, AB
O X B	O, B	A, AB
O X AB	A, B	O, AB
A X A	A, O	B, AB
A X B	A, B, AB, O	—
A X AB	A, B, AB	O
B X B	B, O	A, AB
B X AB	A, B, AB	O
AB X AB	A, B, AB	O

## b. Penggolongan Darah Menurut Sistem M N

Pada tahun 1976, **Landsteiner** dan **Lavene** mengemukakan adanya golongan M, MN, dan N, yang masing-masing disebabkan oleh adanya antigen M, MN, atau N. Antigen ini tidak membentuk zat anti (aglutinin), sehingga apabila ditransfusikan dari golongan satu ke golongan yang lain tidak akan menimbulkan gangguan. Tetapi, apabila antigen tersebut disuntikkan ke dalam tubuh kelinci, serum kelinci akan membentuk zat antinya. Dengan demikian, apabila serum kelinci yang mengandung zat anti ini disuntikkan ke dalam tubuh manusia dapat menimbulkan gangguan.

Adanya antigen M ditentukan oleh gen  $I^m$ , adanya antigen MN ditentukan oleh  $I^m$  dan  $I^n$ , sedangkan adanya antigen – antigen N, ditentukan oleh gen  $I^n$ . Berdasarkan hal tersebut, macam fenotipe, genotipe dan kemungkinan macam gamet dari orang yang bergolongan M, MN, atau N dapat diketahui (seperti tampak pada Tabel 5.6 berikut).

**Tabel 5.6 Hubungan antara Fenotipe Golongan Darah Sistem M N, Genotipe, dan Kemungkinan Macam Gamet**

Fenotipe Golongan Darah	Genotipe	Kemungkinan Macam Sel Gamet
M	$I^m I^m$	$I^m$
N	$I^n I^n$	$I^n$
MN	$I^m I^n$	$I^m, I^n$

### c. Penggolongan Darah Sistem Rhesus

Pada tahun 1946, **Landsteiner** dan **A.S. Weiner** menentukan antigen tertentu dalam darah kera *Maccacus rhesus* (sejenis kera India), yang diberi nama antigen Rhesus (Rh). Antigen ini juga ditentukan dalam sel darah merah manusia. Berdasarkan ada atau tidaknya antigen rhesus ini, darah manusia dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu:

- 1) golongan  $Rh^+$ , apabila dalam sel darah merahnya ditemukan antigen rhesus, dan
- 2) golongan  $Rh^-$ , apabila dalam sel darah merahnya tidak ditemukan antigen rhesus.

Adanya antigen Rh di dalam darah dikendalikan oleh gen  $I^{Rh}$ , yang dominan terhadap  $I^{rh}$ , sehingga genotipe orang menurut sistem Rh ini dapat dibedakan (seperti tampak pada Tabel 5.7)

**Tabel 5.7 Sistem Rhesus**

Fenotipe	Genotipe	Macam Gamet
Rhesus + Rhesus -	$I^{Rh} I^{Rh}, I^{Rh} I^{rh}$ $I^{rh} I^{rh}$	$I^{Rh}, I^{Rh}$ $I^{rh}$

Perlu Anda ketahui jika individu  $Rh^+$  menerima darah dari individu  $Rh^+$  maka tidak akan terjadi penggumpalan darah, sebab tidak ada reaksi antibodi terhadap antigen Rh dalam tubuh resipien. Demikian juga individu  $Rh^+$  yang menerima darah dari individu  $Rh^-$  juga tidak mengalami reaksi penggumpalan, karena resipien tidak mempunyai antibodi.

Jika individu  $Rh^-$  yang menerima darah dari individu  $Rh^+$ , pada awalnya tidak terjadi penggumpalan darah, tetapi setelah menerima darah kembali di  $Rh^+$  untuk kedua kalinya maka akan terjadi penggumpalan, sebab antibodi sebelumnya yang sudah terbentuk akan menyerang pada antigen baru. Misalnya, ibu  $Rh^-$  menikah dengan suami  $Rh^+$ , akan melahirkan bayi  $Rh^+$  lahir dengan selamat. Pada waktu lahir rahim ibu kemungkinan akan tertinggal antigen  $Rh$  yang ikut dalam peredaran darah ibu. Apabila melahirkan bayi kedua dengan  $Rh^+$  lagi, maka akan terjadi lagi perembesan darah janin ke peredaran darah ibu, sehingga jumlah antibodi yang terbentuk di dalam tubuh ibu menjadi sangat banyak. Akibatnya bayi tersebut mengalami penyakit anemia berat *Erythroblastosis fetalis* dengan tanda-tanda tubuh menggembung dengan cairan hati dan limpa membengkak, di dalam darah banyak eritrosit (erithrosit yang belum masak dan daya ikatnya terhadap oksigen rendah dan warna kulit keemasan).

Bayi yang mengalami gangguan ini biasanya tidak berumur panjang, namun, dapat ditolong dengan jalan pemberian suntikan anti serum anti- $Rh$  kepada ibu  $Rh^-$ , karena anti serum ini akan merusak sel-sel  $Rh^+$ , sehingga ibu tidak perlu memproduksi antibodi anti  $-Rh$ .

## 2. Gen Letal

Apa yang dimaksud dengan gen letal? Gen letal adalah gen menyebabkan kematian. Hal ini dikarenakan fungsi gen terganggu sehingga suatu makhluk hidup tidak dapat tumbuh dengan sempurna. Gen letal ada dua macam, yaitu resesif dan dominan. Apabila individu mempunyai gen yang homozigot resesif kemudian mati disebut sebagai gen letal resesif. Sebaliknya, apabila individu mempunyai gen yang homozigot dominan kemudian mati disebut sebagai letal dominan.

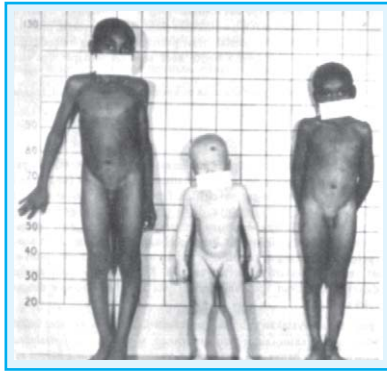
Manusia yang mempunyai gen letal karena menderita penyakit *SS sickle cell anemia* dan *talasemia*. *Sickle cell anemia* (Sickle Cell Anemia) diderita oleh suatu individu yang mempunyai eritrosit berbentuk bulan sabit karena molekul hemoglobin yang bersambung membentuk serabut-serabut, sehingga akan menghalangi kapiler aliran darah, sehingga daya absorpsi terhadap oksigen sangat rendah.

Talasemia merupakan penyakit darah yang mempunyai bentuk eritrosit lonjong, mempunyai ukuran yang kecil dan banyak. Karena bentuknya demikian, maka eritrosit tersebut mempunyai afinitas terhadap oksigen yang rendah. Jika ada seseorang yang menderita penyakit ini tubuhnya akan kekurangan oksigen. Gejala penyakit ini yaitu limpa dan hati membengkak, pertumbuhan tulang tengkorak dan tulang muka menebal, sehingga

penderita kelihatan aneh, daya tahan tubuh rendah, wajah lembap dan pangkal hidung terbenam. Talasemia ini dikendalikan oleh gen dominan (Th Th).

### 3. Albino

Sumber: Dasar-Dasar Genetika, 1999



Gambar 5.9 Albino (tengah)

Perhatikan Gambar 5.9 (tengah)! Gambar itu memperlihatkan orang yang memiliki kulit albino. Ciri penyakit albino ini adalah pada tubuh seseorang tidak mempunyai pigmen warna melanin (hitam, coklat, kuning, putih) karena tidak mempunyai enzim pembentukan warna tersebut. Orang yang menderita penyakit ini mudah terkena kanker kulit sebab tidak tahan terhadap sinar matahari. Albino ini mempunyai gen resesif dengan simbol mm, sedangkan orang yang normal (MM), faktor pembawa carier Mm.

### 4. Gangguan Mental

Coba perhatikan orang yang mengalami gangguan mental atau orang gila! Pernahkah Anda berpikir apa yang menyebabkan orang tersebut mengalami gangguan mental? Ada beberapa faktor yang menyebabkan gangguan mental ini di antaranya adalah fenilketonuria (fku) yaitu kegagalan tubuh penderita mensintesis enzim yang dapat mengubah fenilalanin menjadi tiroksin yang akibatnya terjadi penimbunan fenilalanin yang dibuang melalui urin, sehingga fenilalanin yang mempunyai senyawa tinggi yaitu fenil piruvat dapat merusak sistem saraf yang akhirnya menyebabkan individu menderita gangguan mental. Individu yang menderita gangguan ini bergenotipe homozigot resesif.

Penyebab seseorang menderita gangguan mental yaitu karena pengaruh pasangan alel gen resesif homozigot yang diwariskan dari kedua orang tuanya yang bergenotipe heterozigot. Agar lebih jelas, amati diagram berikut ini!

P	Aa		><	Aa	
	Ibu carier			Bapak carier	
Gamet	A			A	
	a			a	
F1	AA	: Aa	:	Aa	: aa
	Normal	: Carier	:	Carier	: Gangguan mental

Perbandingan normal : Carier : gangguan mental = 1 : 2 : 1

Dari hasil perkawinan tersebut tampak 1/4 kemungkinan yang bergenotipe homozigot dan bergenotipe homozigot resesif (aa) yang menderita cacat mental. Dari yang normal terdapat 1/3 yang homozigot (AA) dan 2/3 normal, tetapi pembawa sifat (Aa). Bagaimana cara mengatasi gangguan ini?

Jika ada seseorang yang menderita gangguan mental sebaiknya secara cepat dideteksi urinyanya dengan larutan feriok-sida 5%, jika terjadi warna hijau kebiruan berarti ia menderita gangguan mental. Cara yang baik untuk mengobatinya adalah dengan diet yang keras sehingga menghilangkan asam fenil piruvat dari darah (urine). Diet tersebut sampai batas kandungan fenilalanin yang diperlukan untuk mensintesis protein saja.



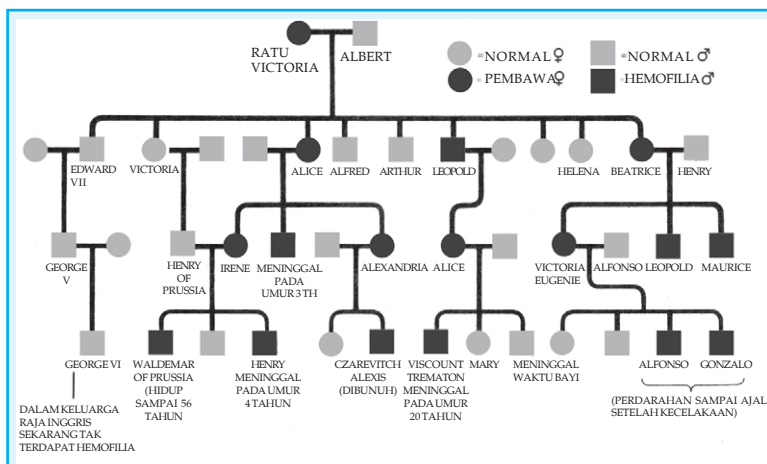
### Perlu Diketahui

Menurut para ahli, kriminalitas merupakan salah satu sifat yang dapat menurun dalam beberapa generasi suatu keluarga. Tentu saja faktor lingkungan ikut menentukan tumbuh tidaknya kecenderungan terhadap tindakan kriminalitas.

## 5. Hemofili

Hemofili merupakan contoh penyakit yang disebabkan oleh gen pautan seks. Penyakit ini menyebabkan darah tidak dapat membeku. Apabila orang yang menderita penyakit ini terkena luka kecil maka pendarahan tidak dapat berhenti, akibatnya orang tersebut dapat meninggal dunia.

Gen pembeku darah terdapat pada kromosom X nonhomolog dan bersifat dominan dengan simbol H (mampu memproduksi pembeku darah), gen resesifnya dengan simbol h (tidak mampu memproduksi faktor pembeku darah). Penyakit ini lebih banyak diderita kaum pria dibandingkan dengan wanita karena pengaruh gen h pada wanita ditutupi oleh pasangannya H ( $X^H X^h$ ), sedangkan pada pria tidak demikian ( $X^h Y$ ).



Sumber: Biologi 3 Depdikbud 1995

Gambar 5.10 Peta silsilah pewarisan penyakit hemofili keturunan Ratu Victoria

Keterangan diagram :

Pada Gambar 5.10 tampak silsilah keturunan Ratu Victoria. Alel untuk hemofili yang diderita oleh akeluarga kerajaan Eropa hampir selalu diturunkan oleh ibu-ibu yang heterozigot untuk sifat ini, sehingga tidak menunjukkan gejala-gejala tetapi mereka menurunkan alel resesif pada separuh keturunan laki-laki yang kemudian menderita hemofili.

## 6. Buta Warna

Penyakit ini sama dengan hemofili, yaitu merupakan penyakit gen yang terpaut kromosom seks. Gen buta warna terdapat pada kromosom seks. Gen buta warna terdapat pada kromosom X nonhomolog dan bersifat resesif. Cacat buta warna biasanya tidak tampak dari luar, orang yang menderita buta warna asli hanya dapat melihat warna hitam dan putih, sedangkan penderita buta warna sebagian tidak dapat membedakan warna hijau dan merah dari warna lain. Misalnya, seorang wanita pembawa buta warna menikah dengan laki-laki normal, maka kemungkinan anak-anaknya adalah:

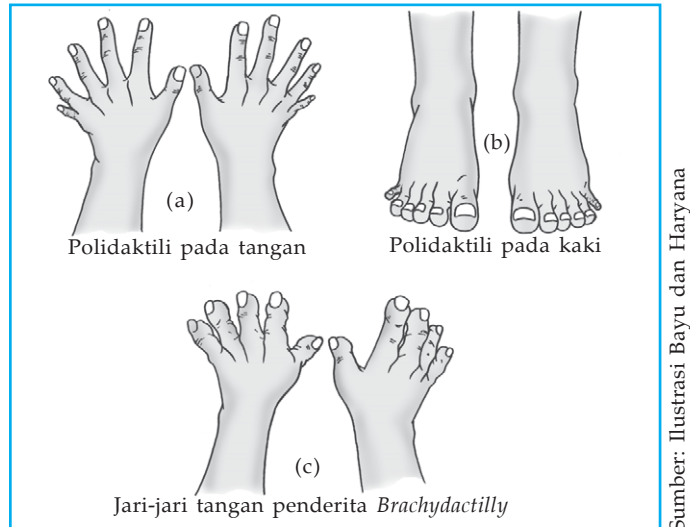
P.	$X^bX$	><	$XY$
	Ibu carier		Bapak normal
Gamet	$X^bX$		$XY$
F1	$X^bX$ : $XX$ : $X^bY$ : $XY$		
	Wanita carier : Wanita normal : Pria buta warna : Pria normal.		

### TUGAS INDIVIDU

Cobalah Anda memperkirakan keturunan apabila seorang wanita normal menikah dengan laki-laki penderita hemofili atau buta warna. Buatlah diagram perkawinannya! Kerjakan di buku tugas Anda!

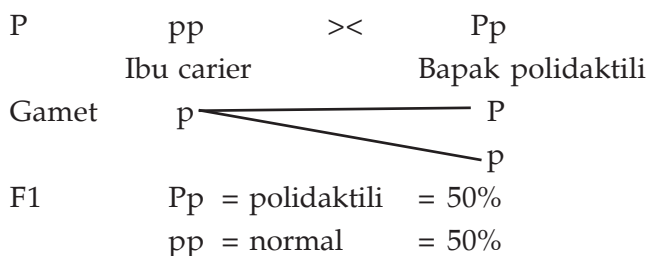
## 7. Cacat pada Jari Kaki dan Tangan

Pernahkah Anda melihat jumlah jari tangan atau jari kaki berlebih atau ruas-ruas tulang jari pendek pada tubuh seseorang? Coba Anda lihat Gambar 5.11 berikut!



Gambar 5.11 Polidaktili pada tangan (a), polidaktili pada kaki (b), dan brakhidaktily (c).

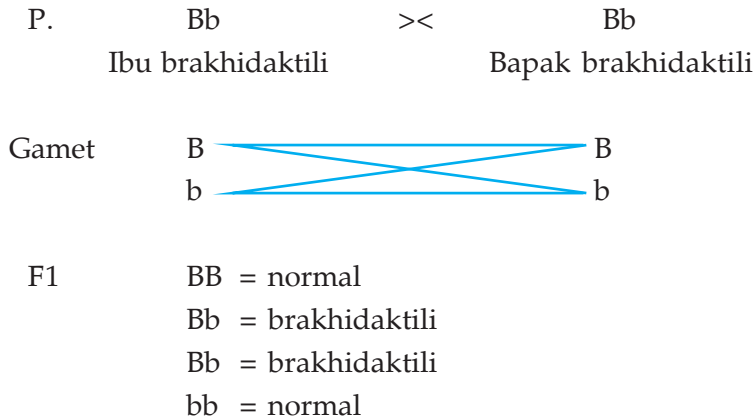
Tampak pada gambar penderita polidaktili mempunyai jari lebih atau tambahan jari pada satu atau dua tangan dan kakinya, tempat tambahannya yaitu di dekat kelingking. Polidaktili diwariskan orang tua kepada anaknya melalui gen autosom dominan. Coba Anda lihat hasil perkawinannya berikut!



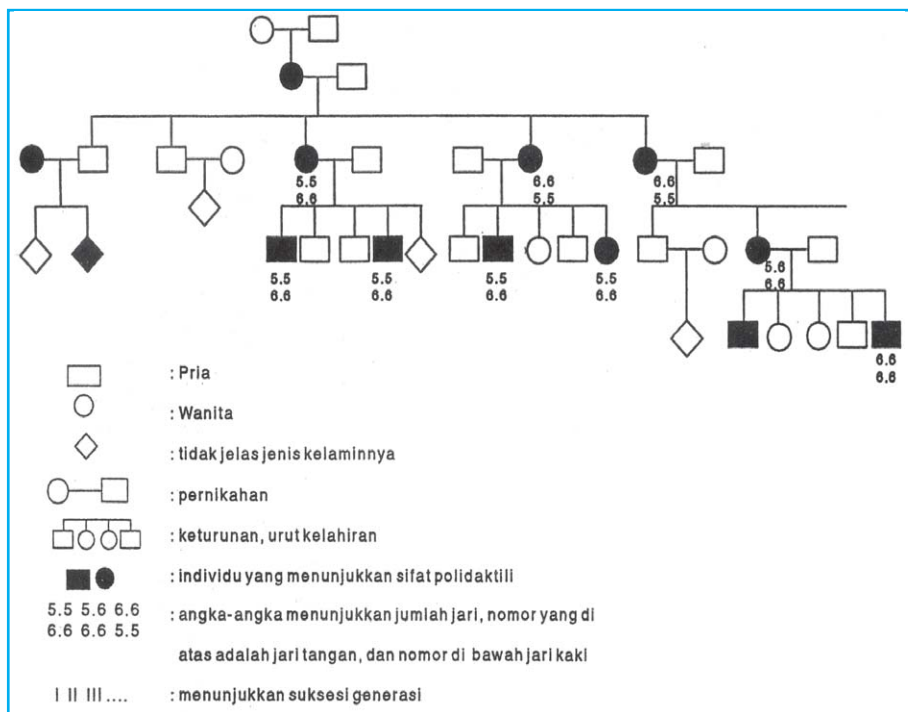
Penderita brakhidaktily memiliki ruas-ruas tulang jari pendek, sehingga jari-jari tangan dan kaki pendek. Brakhidaktily dikendalikan oleh gen dominan yang dalam keadaan homozigot bersifat letal, sedangkan dalam keadaan heterozigot menderita brakhidaktily (jari pendek), dan untuk orang yang normal memiliki genotipe homozigot resesif.



Coba Anda perhatikan contoh dari hasil perkawinannya.



Dari hasil perkawinan terlihat jelas, bahwa wanita sangat mungkin menderita cacat tersebut, berikut ini terdapat peta silsilah untuk memperoleh pengetahuan sifat-sifat yang diturunkan kepada keturunannya!



Sumber: Biologi Jilid 3 Depdikbud 1995

Gambar 5.12 Peta silsilah polidaktili

## **D** MANFAAT GENETIKA

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan, maka ilmu genetika dapat diterapkan di berbagai bidang, misalnya bidang pertanian, peternakan dan kesehatan. Penerapan tersebut di antaranya dilakukan melalui proses mutasi buatan, seleksi, dan penyiilangan.

Pada bab sebelumnya kita sudah mengetahui manfaat mutasi, misalnya tanaman poliploid memiliki ukuran yang lebih besar dan mempunyai sifat-sifat yang unggul, misalnya buah semangka berukuran besar dan tidak berbiji. Seleksi dan penyiilangan (breeding) dilakukan untuk mencari keturunan yang memiliki sifat-sifat unggul, bertujuan untuk memperoleh hasil dengan mutu lebih baik. Misalnya pada tanaman tahan terhadap serangan hama dan penyakit, tubuhnya kokoh, masa berbuah dan berbunga cepat. Pada hewan dapat dipilih yang menghasilkan telur banyak tiap tahunnya, coba Anda beri contoh yang lainnya! Setelah mendapatkan karakter yang sesuai dengan keinginan, selanjutnya dilakukan penyiilangan (breeding) dengan menerapkan hukum-hukum Mendel.

Di bidang kesehatan, ilmu genetika banyak digunakan untuk mendiagnosis suatu penyakit, dapat mencegah timbulnya penyakit menurun, dan mengobati suatu penyakit. Dengan demikian penyakit-penyakit yang menurun dapat dicegah serta kelainan-kelainan bawaan dapat dihindari. Ilmu genetika juga dapat digunakan untuk mengetahui penyakit-penyakit yang menurun, sehingga dapat digunakan untuk mencegah perkawinan yang mempunyai hubungan keluarga guna menghindari munculnya penyakit menurun.

## RANGKUMAN

1. **Gregor Johann Mendel** disebut sebagai Bapak Genetika karena dialah orang yang pertama kali meneliti pewarisan sifat melalui penyilangan.
2. Genotipe adalah sifat yang ditentukan oleh gen, sebagai faktor bakat/pembawaan. Genotipe bersifat menurun dan diwariskan kepada keturunannya.
3. Gen merupakan sepenggal DNA yang berguna untuk mengendalikan sintesa protein. Apabila gen berubah, maka sifat makhluk hidup juga berubah.
4. Fenotipe merupakan sifat yang tampak dari luar sebagai akibat interaksi antara faktor genotipe dengan lingkungannya.
5. Hukum I Mendel dikenal sebagai Hukum Segregasi yaitu perkawinan organisme dengan hanya memperhatikan satu sifat beda yang akan menghasilkan perbandingan 3 : 1.
6. Hukum II Mendel atau Hukum Pengelompokan Gen Secara Bebas merupakan persilangan dihibrid yaitu perkawinan individu dengan memperhatikan dua sifat beda akan menghasilkan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1.
7. Backcross dan testcross digunakan untuk mengetahui genotipe induknya.
8. Penyimpangan semu hukum Mendel merupakan penyilangan dihibrid yang hasil perbandingannya tidak sesuai dengan Hukum Mendel misalnya peristiwa epistasis-hipostasis, kriptomeri, polimeri, pindah silang, tautan, gagal berpisah, dan pautan seks.
9. Hemofili, buta warna, dan albino, merupakan penyakit yang diturunkan dan tidak dapat disembuhkan.
10. Gen letal merupakan gen yang dapat menyebabkan kematian.
11. Golongan darah manusia berdasarkan ada tidaknya antigen antibodi dibedakan menjadi ABO, MN, dan Rhesus.
12. Ilmu genetika dapat dimanfaatkan di bidang pertanian, peternakan, dan kesehatan.

**I. Pilihlah jawaban yang benar!**

1. Jika kita menyilangkan jagung berbiji bulat merah (BBmm) dengan biji jagung keriput kuning (bbkk), maka keturunan pertama (F1) menghasilkan biji jagung bulat berwarna merah, kemudian antara keturunan pertamanya F1, maka akan menghasilkan F2 dengan perbandingan bulat merah : keriput merah : bulat kuning : keriput kuning, sebagai berikut ....
  - a. 3 : 3 : 9 : 1
  - b. 1 : 3 : 3 : 9
  - c. 9 : 3 : 3 : 1
  - d. 9 : 3 : 1 : 3
  - e. 9 : 3 : 3
2. Persilangan keturunan pertama (F1) dengan salah satu induk yang bersifat homozigot dominan atau resesif, maka persilangan itu disebut persilangan ....
  - a. monohibrid
  - b. dihibrid
  - c. resiprok
  - d. backcross
  - e. testcross
3. Suatu individu yang mempunyai genotipe AABBCcdd, dapat menghasilkan macam gamet ....
  - a. 4
  - b. 8
  - c. 16
  - d. 2
  - e. 10
4. Bayi yang menderita penyakit erithroblastosis fetalis lahir dari pasangan ....
  - a. ibu Rh<sup>+</sup> dengan ayah Rh<sup>-</sup>
  - b. ibu Rh<sup>+</sup> dengan ayah Rh<sup>+</sup>
  - c. ibu Rh<sup>-</sup> dengan ayah Rh<sup>-</sup>
  - d. ibu Rh<sup>-</sup> dengan ayah Rh<sup>+</sup>
  - e. ibu dan ayah mempunyai peresus yang berbeda

5. Tanaman jenis jagung yang tinggi dominan terhadap pendek, warna biji bulat dominan terhadap biji kisut. Jika dua tanaman jagung yang bersifat heterozigot disilangkan, maka perbandingan keturunannya adalah ....
  - a.  $1/2$  tinggi kisut :  $1/2$  pendek bulat
  - b.  $1/2$  pendek kisut :  $1/2$  tinggi bulat
  - c. 3 tinggi bulat : 2 pendek kisut
  - d. 9 tinggi bulat : 3 tinggi kisut : 3 pendek bulat : 1 pendek kisut
  - e. 9 tinggi bulat : 3 tinggi kisut : 3 pendek kisut : 1 pendek kisut
6. Jika terjadi suatu perkawinan antara seseorang bergolongan darah A heterozigot dengan B heterozigot, maka kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah ....
  - a. B dan AB
  - b. A, B, AB, dan O
  - c. A dan B
  - d. AB dan O
  - e. A dan AB
7. Kromosom seks XY pada pria terdapat pada ....
  - a. sel gamet dan sel testis
  - b. sel alat reproduksi
  - c. sel gamet
  - d. sel somatik
  - e. sel testis
8. Genotipe manakah yang membuat macam gamet masing-masing sebanyak 25%?
  - a. Pp rr SS tt
  - b. PP rr Ss tt
  - c. Pp RR Ss tt
  - d. Pp Rr Ss Tt
  - e. pp Rr Ss Tt
9. Seorang ayah buta warna akan menurunkan gen buta warna tersebut pada ....
  - a. 50% dari cucu laki-laknya
  - b. 50% dari anak laki-laknya
  - c. 100 % dari anak laki-laknya
  - d. 100% dari anak perempuannya
  - e. 100% dari cucu perempuannya

A pedigree chart showing a family with three children. The first generation consists of two couples. The first couple has a male (square) labeled 'A' and a female (circle) labeled 'X'. The second couple has a male (square) labeled 'A' and a female (circle) labeled 'AB'. The first couple is connected to the second couple by a horizontal line. A vertical line descends from the center of this horizontal line to a horizontal line that connects to the three children. The children are a male labeled 'A', a male labeled 'B', and a female labeled 'AB'.

Individu X mempunyai golongan darah ....

**II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan benar!**

1. Apa yang Anda ketahui tentang gen, genotipe, dan fenotipe?
2. Apakah yang dimaksud dengan Hukum Segregasi?
3. Coba Anda jelaskan dengan contoh terjadinya letal resesif!
4. Apa yang dimaksud dengan gagal berpisah?
5. Mengapa hemofili dan buta warna sering diwariskan kepada anak-anak laki-laki?
6. Apa saja yang dapat dijadikan dasar munculnya pola pewarisan sifat yang beraneka ragam itu sehingga seakan-akan menyimpang dari hukum yang berlaku?
7. Apa perbedaan pindah silang dipandang dari segi kekerapannya (frekuensi) dan proses kejadiannya?
8. Apa peranan ilmu genetika terhadap kehidupan manusia?
9. Apa yang dimaksud dengan polidaktili dan dengan cara apa sifat ini dapat dipelajari?
10. Apa yang Anda ketahui dengan albino?

*Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!*

1. Dengan diagram jelaskan kemungkinan keturunan tetua yang bergolongan darah A  $\times$  golongan darah B, AB  $\times$  A, AB  $\times$  B dan O  $\times$  O!
2. Budi mempunyai orang tua yang bergolongan darah AB, dia bergolongan darah B. Ade bergolongan darah A, sedangkan kedua orang tuanya bergolongan darah O dan AB. Keduanya menikah, coba Anda analisa!
  - a. Bagaimana kemungkinan golongan darah anak-anak mereka nanti?
  - b. Buatlah diagram perkawinannya!
3. Menurut ilmu genetika, perkawinan yang mempunyai hubungan keluarga harus dihindari. Apa tanggapan Anda tentang masalah ini? Jelaskan disertai alasan yang tepat!

# BAB

## 6

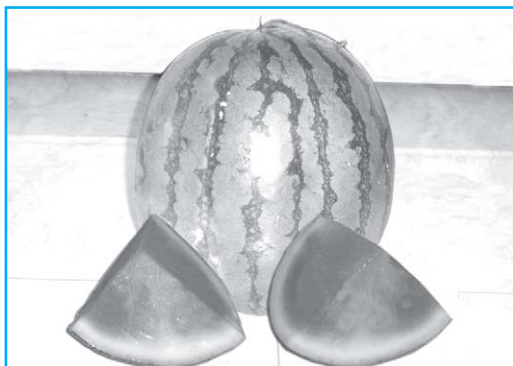
## MUTASI

### Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang mutasi pada makhluk hidup. Dengan mempelajari materi ini diharapkan Anda mampu mengetahui proses terjadinya mutasi dan sebab-sebabnya sehingga mampu mengetahui perwujudannya dalam kehidupan.

Pada umumnya buah semangka dan tomat memiliki biji di dalamnya sebagai alat generatif pada tumbuhan. Buah-buahan seperti ini saat ini mudah kita dapatkan di pasar tradisional maupun supermarket, tetapi dengan keadaan lain yaitu tanpa biji. Tentunya Anda lebih menyukainya bukan?

Penemuan buah-buahan tanpa biji ini merupakan penerapan dari peristiwa mutasi buatan dengan menggunakan kolkisin. Perlakuan pemberian kolkisin dapat menghalangi pembentukan gelendong pembelahan, sehingga pada proses pembelahan sel terutama pada fase metafase, pasangan kromatid tidak dapat memisahkan diri dan akhirnya dihasilkan individu poliploid dengan ciri-ciri yaitu buahnya besar dan tidak berbiji. Gambar 6.1 merupakan contoh penemuan buah semangka tanpa biji dari hasil mutasi.



Sumber: Haryana, 2007

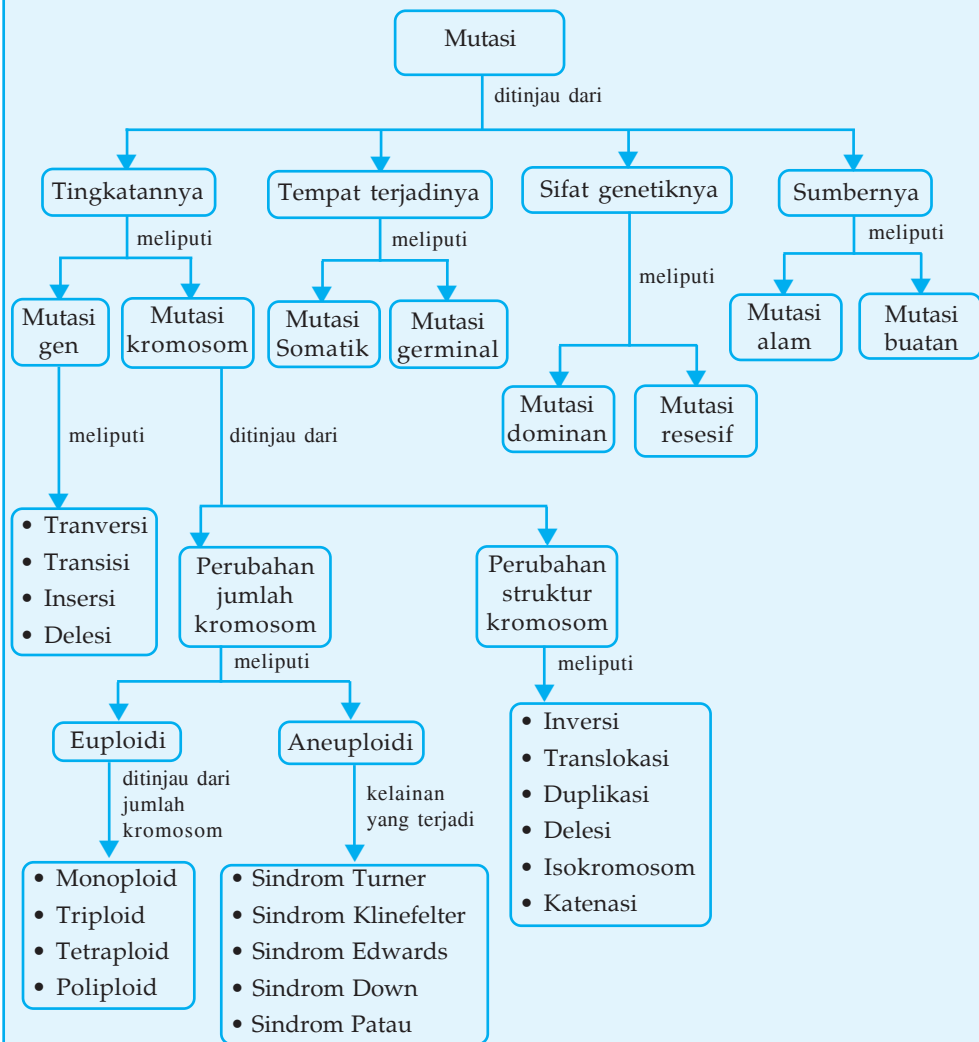
Gambar 6.1  
Buah semangka tanpa biji

### Kata Kunci

- modifikasi
- mutasi
- gen
- mutan
- mutagen
- mutagenesis
- diploid
- haploid
- carrier
- homozigot
- heterozigot



## PETA KONSEP



Buah semangka tanpa biji merupakan satu contoh munculnya perubahan atau variasi pada makhluk hidup. Munculnya perubahan atau variasi pada makhluk hidup dapat disebabkan oleh faktor lingkungan maupun buatan. Jika perubahan atau variasi yang muncul tersebut tidak diwariskan kepada keturunannya, peristiwa ini dinamakan *modifikasi*, artinya makhluk hidup yang mengalami perubahan akan menunjukkan sifat yang dapat diamati (fenotipe) yang berbeda, tetapi susunan gen (genotipe) tetap sama. Dari konsep tersebut, cobalah Anda mengidentifikasi peristiwa modifikasi yang terjadi pada manusia! Apabila yang terjadi lain, yaitu jika perubahan terjadi pada fenotipe dan genotipe maka akan diwariskan kepada keturunannya, peristiwa ini disebut *mutasi*. Jadi apakah mutasi itu? Coba Anda rumuskan definisinya!

## A PENGERTIAN MUTASI

Coba Anda ingat kembali pengertian gen sebagai substansi hereditas yang sudah dibahas pada bab sebelumnya. Gen inilah yang akan mengatur perkembangan dan metabolisme individu serta menyampaikan informasi berikutnya.

Gen secara umum bersifat mantap, tetapi dalam jangka panjang atau karena adanya pengaruh dari lingkungan, dapat menyebabkan susunan kimia dari gen tersebut berubah. Perubahan yang terjadi dalam gen tersebut dapat diturunkan dan menghasilkan individu yang berbeda dari individu sebelumnya. Apabila mutasi berlangsung secara terus menerus pada makhluk hidup dari generasi ke generasi berikutnya maka bisa terjadi suatu saat nanti akan muncul spesies baru, yang memiliki sifat berbeda dengan moyangnya.

Selain terjadi pada tumbuhan (buah semangka) seperti pada gambar 6.1, mutasi juga dapat terjadi pada manusia. Mutasi dapat disebabkan oleh faktor-faktor *intern* dan *ekstern*. Faktor intern berasal dari dalam tubuh makhluk hidup sendiri atau faktor pembawaan. Faktor ekstern berasal dari luar tubuh, yaitu dari lingkungan. Faktor-faktor ekstern dapat berupa makanan, obat-obatan, dan senyawa tertentu yang berbahaya terhadap tubuh. Senyawa-senyawa ini pada kadar tertentu dapat bersifat karsinogenik, yaitu dapat memacu pertumbuhan sel-sel kanker.

Mutasi merupakan perubahan organisasi materi genetik yang berupa gen atau kromosom dari suatu individu dan diwariskan kepada generasi berikutnya. Mutasi yang terjadi pada sel-sel gamet (sel kelamin) akan bersifat menurun, tetapi jika mutasi tersebut terjadi pada sel-sel somatik (sel tubuh) maka perubahan itu hanya terjadi pada individu tersebut dan tidak bersifat menurun.

Seorang ahli berkebangsaan Amerika Serikat bernama **Herman Yoseph Muller** (1890 – 1945) berpendapat bahwa mutasi yang terjadi pada sel-sel somatik (tubuh) tidak akan membawa perubahan pada keturunannya, sedangkan mutasi yang terjadi pada sel-sel gamet kebanyakan letal (mati) sebelum dilahirkan atau sebelum dewasa.

Peristiwa terjadinya mutasi dinamakan *mutagenesis*, sedangkan individu yang mengalami mutasi disebut *mutan*. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya mutasi disebut *mutagen*. Untuk membahas peristiwa mutasi lebih lanjut, perlu Anda ketahui bahwa mutasi ini memiliki beberapa karakteristik umum antara lain pada peristiwa mutasi belum dapat diketahui secara pasti bagian gen yang mengalami mutasi. Mutasi dapat bersifat menguntungkan atau merugikan. Mutan akan dapat hidup jika dapat beradaptasi dengan lingkungannya. Mutasi dapat muncul secara bebas.

Hasil dari mutasi sukar untuk diamati karena sebab-sebab berikut.

1. Gen yang mengalami mutasi dalam suatu individu, tidak menonjolkan diri.
2. Gen yang mengalami mutasi pada umumnya bersifat letal, sehingga tidak dapat diamati. Biasanya individu akan mati sebelum dilahirkan atau sebelum dewasa.
3. Gen yang mengalami mutasi pada umumnya bersifat resesif, sehingga dalam keadaan heterozigot belum dapat terlihat.

Telah dijelaskan di depan bahwa mutasi dapat terjadi pada tingkat gen maupun kromosom. Agar lebih jelas, pelajari uraian berikut ini dengan baik!

## 1. Mutasi Gen

Pada bab 3 sudah dibahas tentang gen. Coba ingat kembali pengertian gen! Gen merupakan materi yang mengandung informasi genetik dan mempunyai tugas khusus sesuai dengan fungsinya. Gen dapat mengalami duplikasi diri untuk menyampaikan informasi genetika dari generasi ke generasi berikutnya. Di samping itu, gen juga mampu mengontrol proses metabolisme di dalam tubuh.

Mutasi gen merupakan mutasi yang terjadi karena adanya perubahan susunan molekul gen atau perubahan pada struktur DNA. Perubahan tersebut akan mempengaruhi sifat kerja dari gen. Mutasi gen disebut juga mutasi titik atau *point mutation*.

Pada mutasi gen, pengaruh terjadi pada saat terjadinya sintesis DNA (*replikasi*). Apabila pada saat sintesis DNA tersebut terjadi mutasi maka mutagen akan mempengaruhi pemasangan basa nukleotida sehingga tidak berpasangan dengan basa nukleotida yang seharusnya. Pada mutasi gen tidak terjadi perubahan lokus, bentuk, dan jumlah kromosom. Pada peristiwa ini yang mengalami perubahan adalah m-RNA, sehingga dalam sintesis protein akan menghasilkan perubahan protein, akibatnya menghasilkan fenotipe yang berbeda.

Mutasi gen dapat terjadi karena adanya hal-hal berikut.

#### a. Pergantian Pasangan Basa Nitrogen

Adanya pergantian pasangan basa nitrogen pada suatu rantai *polinukleotida* dapat menyebabkan perubahan pada kodon. Peristiwa ini disebut dengan *substitusi*. Perubahan kodon ini akan menyebabkan perintah pembuatan asam amino menjadi berubah pula. Peristiwa ini dapat menyebabkan terjadinya mutasi gen. Berdasarkan basa nitrogen yang digantikan, mutasi secara substitusi ini dibedakan menjadi dua.

##### 1) Tranversi

Peristiwa tranversi merupakan pergantian basa nitrogen yang tidak sejenis. Tranversi dapat terjadi bila terdapat pergantian basa purin dengan basa pirimidin atau basa pirimidin dengan basa purin.

Misalnya: T-A diganti menjadi A-T

G-S diganti menjadi S-G

DNA induk

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	T	G	G	T	A	S	T	G
G	A	S	S	A	T	G	A	S

Apabila terjadi tranversi nukleotida 2, 3 dan 7 menjadi

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	A	S	G	T	A	G	T	G
G	T	G	S	A	T	S	A	S

##### 2) Transisi

Transisi merupakan peristiwa pergantian basa nitrogen yang sejenis. Transisi terjadi bila terdapat pergantian basa purin dari satu mutasi DNA dengan purin lainnya atau basa pirimidin dengan pirimidin lainnya.

Misalnya: A-T diganti menjadi G-S

S-G diganti menjadi T-A

DNA induk

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	T	G	G	T	A	S	T	G
G	A	S	S	A	T	G	A	S

Apabila terjadi transisi nukleotida 2 dan 7 menjadi

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	S	G	G	T	A	T	T	G
G	G	S	S	A	T	A	A	S

## b. Penyisipan dan Pengurangan Basa Nitrogen

Peristiwa penyisipan dan pengurangan basa nitrogen meliputi dua hal.

- 1) *Inseri*, merupakan peristiwa penyisipan satu atau lebih pasangan basa nitrogen pada rantai DNA. Inseri dapat disebabkan oleh fragmen DNA yang pindah. Peristiwa ini disebut dengan *transposom*.

Misalnya:

DNA induk

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	T	G	G	T	A	S	T	G
G	A	S	S	A	T	G	A	S

Apabila terjadi inseri nukleotida antara 8 - 9 menjadi

1	2	3	4	5	6	7	8	8	9
S	T	G	G	T	A	S	T	A	G
G	A	S	S	A	T	G	A	T	S

- 2) *Delesi*, dapat terjadi karena pengurangan satu atau lebih pasangan basa nitrogen pada rantai DNA. Peristiwa ini dapat disebabkan karena radiasi sinar radioaktif dan infeksi suatu virus.

Misalnya:

DNA induk

1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	T	G	G	T	A	S	T	G
G	A	S	S	A	T	G	A	S

Apabila terjadi transisi nukleotida 2 dan 7 menjadi seperti berikut.

1	2	3	4	5	6	7	8
S	T	G	G	T	A	S	T
G	A	S	S	A	T	G	A

Mutasi bisu (*silent mutation*) dapat terjadi jika perubahan basa nitrogen pada rantai DNA tidak mempengaruhi hasil produksi protein atau gejala fenotip yang lain.

Mutasi gen dapat terjadi pada peristiwa pembentukan anemia sel sabit (*sickle cell anemia*) atau pada peristiwa  $\text{HNO}_2$  yang bereaksi dengan adenin.

## 2. Mutasi Kromosom

Coba Anda ingat kembali pengertian kromosom yang dibahas pada bab 3, untuk dapat mempermudah mempelajari tentang mutasi kromosom. Kromosom merupakan suatu badan yang di dalamnya mengandung banyak gen. Kromosom dapat mengalami mutasi karena adanya perubahan struktur atau susunan dan jumlah kromosom. Mutasi kromosom ini disebut juga dengan mutasi besar (*gross mutation*). Mengapa disebut demikian? Hal ini disebabkan karena susunan kromosom yang mengandung banyak gen, sehingga jika terjadi mutasi pada kromosom akan menimbulkan perubahan fenotipe yang lebih besar, bahkan dapat muncul individu baru hasil mutan yang betul-betul menyimpang dari aslinya.

Penyebab terjadinya mutasi kromosom antara lain adanya gangguan fisik dan kimia sehingga terjadi kesalahan di dalam pembelahan sel yang mengakibatkan struktur kromosom rusak dan jumlah kromosom berubah.

Pada prinsipnya mutasi pada kromosom terdiri atas dua macam.

### a. Mutasi karena Perubahan Jumlah Kromosom

Mutasi yang terjadi karena perubahan jumlah kromosom disebut ploidi, yang macamnya sebagai berikut.

#### 1) Euploidi

*Euploidi* merupakan mutasi yang melibatkan pengurangan atau penambahan dalam perangkat kromosom (*genom*). Jumlah kromosom di dalam genom pada masing-masing jenis organisme berbeda-beda, misalnya pada tumbuhan kentang adalah 12, apel adalah 17, dan gandum adalah 7. Jumlah kromosom di dalam genom pada beberapa jenis organisme dapat dilihat pada Tabel 6.1 di bawah ini!

**Tabel 6.1 Jumlah Kromosom Dalam Genom Pada Beberapa Jenis Tumbuhan**

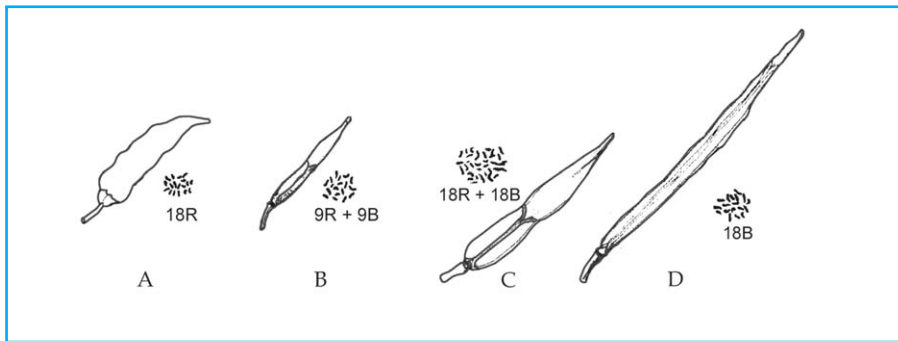
No	Nama Tumbuhan	Nama ilmiah (spesies)	Jumlah kromosom dalam genom
1	Kapas	<i>Gossypium</i> sp.	13
2	Jeruk manis	<i>Citrus sinensis</i>	9
3	Tembakau	<i>Nicotiana tabacum</i>	12
4	Aprikot	<i>Prunus armeniaca</i>	8
5	Pir	<i>Pyrus communis</i>	18
6	Almond	<i>Prunus amygdalus</i>	8
7	Arbei	<i>Fragaria</i> spp.	7
8	Pech	<i>Prunus persica</i>	8

Pada umumnya individu normal mempunyai susunan kromosom 2n (diploid), tetapi terjadinya mutasi akan menyebabkan sel kromosom dapat berubah. Perubahan tersebut terlihat pada Tabel 6.2 berikut.

**Tabel 6.2 Perubahan pada Kromosom**

No	Bentuk	Keterangan
1	Monoploid	Organisme yang kehilangan satu set kromosomnya. Individu ini hanya terdapat satu genom (n kromosom) dalam sel somatiknya (sel tubuh).
2	Triploid	Organisme yang memiliki tiga genom (3n kromosom) dalam sel somatiknya.
3	Tetraploid	Organisme yang memiliki empat genom (4n kromosom) dalam sel somatiknya.
4	Poliploid	Organisme yang memiliki banyak genom dalam sel somatiknya. Poliploid dibedakan menjadi 2 macam antara lain: a. Autopoliploid: Peristiwa ini terjadi pada kromosom homolog. Gambar 6.1 merupakan contoh dari peristiwa ini yaitu semangka tak berbiji. b. Alopolidiploid: Peristiwa ini terjadi pada kromosom nonhomolog. Misalnya, tumbuhan <i>Rhaphanobrassica</i> .

Peristiwa poliploid ini dapat Anda lihat pada Gambar 6.2!



Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

Gambar 6.2 Contoh tumbuhan hasil poliploid

Keterangan gambar:

A. lobak (*Raphanus*)

B. hibrida diploid

C. hibrida tetraploid (*Raphanobrassica*)

D. kubis (*Brassica*)

Proses euploid terjadi karena faktor-faktor yang dapat mempengaruhi antara lain pemberian zat kimia, misalnya kolkisin, penggunaan suhu tinggi dan dekapitasi. Penggunaan kolkisin dapat mempengaruhi pembelahan sel, khususnya menghalangi pembentukan gelendong pembelahan dan menghambat terjadinya anafase. Karena hal tersebut maka kromatid tidak terpisah ke kutub yang bersebelahan. Dekapitasi merupakan pemotongan tunas tanaman sehingga tunas baru yang muncul adalah tetraploid ( $4n$ ).

Beberapa contoh tanaman pada Gambar 6.2 menunjukkan contoh-contoh terjadinya euploid. Contoh lain yaitu pada buah tomat, jeruk, apel, semangka, gandum, dan lain-lain.

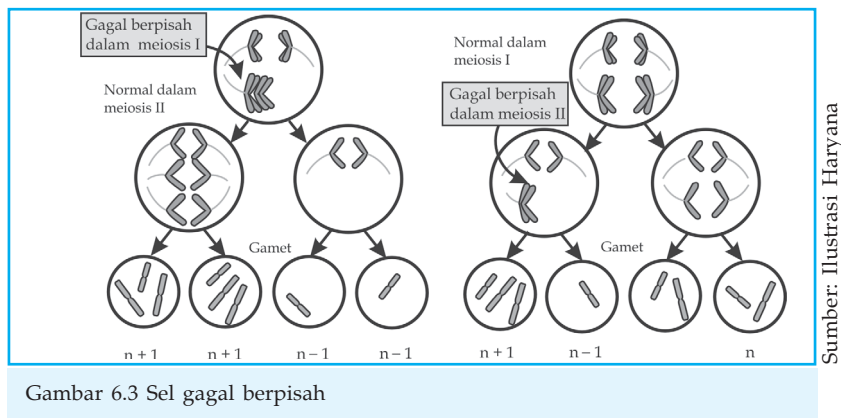
Peristiwa euploid pada hewan misalnya terjadi pada insekta, katak, yang akan menyebabkan berumur pendek, seperti pada peristiwa *digini* (dibuahinya dua sel telur yang terlindung dalam satu plasma) dan *diandri* (dibuahinya satu sel telur oleh dua sperma).

## 2) Aneuploid

*Aneuploid* merupakan mutasi kromosom yang tidak melibatkan perubahan pada seluruh genom, tetapi terjadi hanya pada salah satu kromosom dari genom.

Pada pembelahan sel, kadang-kadang terjadi gagal berpisah (*nondisjunction*). Gagal berpisah dapat terjadi pada meiosis yaitu pada saat anafase. Gagal berpisah pada meiosis I ditandai dengan peristiwa yaitu bagian-bagian dari sepasang kromosom yang homolog tidak bergerak memisahkan diri sebagaimana mestinya. Gagal berpisah juga dapat terjadi pada pasangan kromatid selama anafase meiosis II. Agar lebih jelas perhatikan Gambar 6.3!





Bila kita perhatikan Gambar 6.3, terlihat salah satu gamet menerima dua jenis kromosom yang sama dari salah satu gamet yang lain. Apabila pada saat pembuahan, gamet-gamet yang tidak normal bersatu dengan gamet yang normal lainnya maka akan menghasilkan keturunan aneuploid yang memiliki jumlah kromosom yang tidak normal.

Susunan kromosom tubuhnya normalnya adalah  $2n$ , namun karena mutasi maka susunan kromosom menjadi berubah. Pada peristiwa aneuploidi terjadi pengurangan dan penambahan kromosom. Ada yang kekurangan satu kromosom, atau dua kromosom. Ada juga yang kelebihan satu kromosom atau dua kromosom.

Bentuk-bentuk peristiwa aneuploid berakhir dengan *somi*, sehingga aneuploid disebut juga dengan *aneusomi*.

Bentuk-bentuk peristiwa tersebut dapat Anda lihat pada Tabel 6.2 di bawah ini!

**Tabel 6.3 Bentuk-Bentuk Aneuploid**

No	Bentuk	Rumus	Keterangan
1	Monosomi	$2n - 1$	Organisme yang kekurangan satu kromosom
2	Trisomi	$2n + 1$	Organisme yang kelebihan satu kromosom
3	Tetrasomi	$2n + 2$	Organisme yang kelebihan dua kromosom
4	Nulisomi	$2n - 2$	Organisme yang kekurangan dua kromosom

Peristiwa aneuploid dapat terjadi karena hal-hal berikut ini.

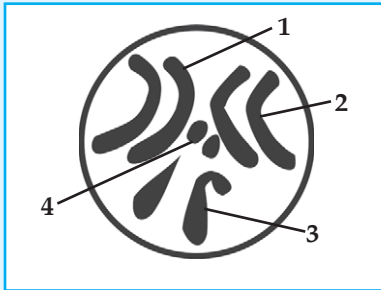
- Pada saat anafase meiosis I, salah satu kromatid tidak melekat pada gelendong sehingga jumlah kromosom ada yang berkurang dan ada yang mengalami kelebihan.
- Pada saat terjadinya peristiwa gagal berpisah yaitu tidak terpisahnya kromosom homolog pada waktu profase meiosis I.

## KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan :** Dapat memahami perubahan jumlah kromosom akibat mutasi

**Cara kerja :**

Amatilah gambar di bawah ini!



Gambar tersebut adalah gambar kromosom pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*). Normalnya lalat buah memiliki kromosom  $2n$  berjumlah 8 terdiri atas 6 autosom (nomor 1, 2, 3) dan 2 gonosom (nomor 4)

Dengan melihat kromosom di atas, tentukanlah kromosom sesuai jenis mutasi yang dialami berikut ini!

- Monoploid.
- Triploid.
- Tetraploid.
- Monosomi pada nomor 1.
- Trisomi pada nomor 3.
- Tetrasomi pada nomor 1 dan 2.

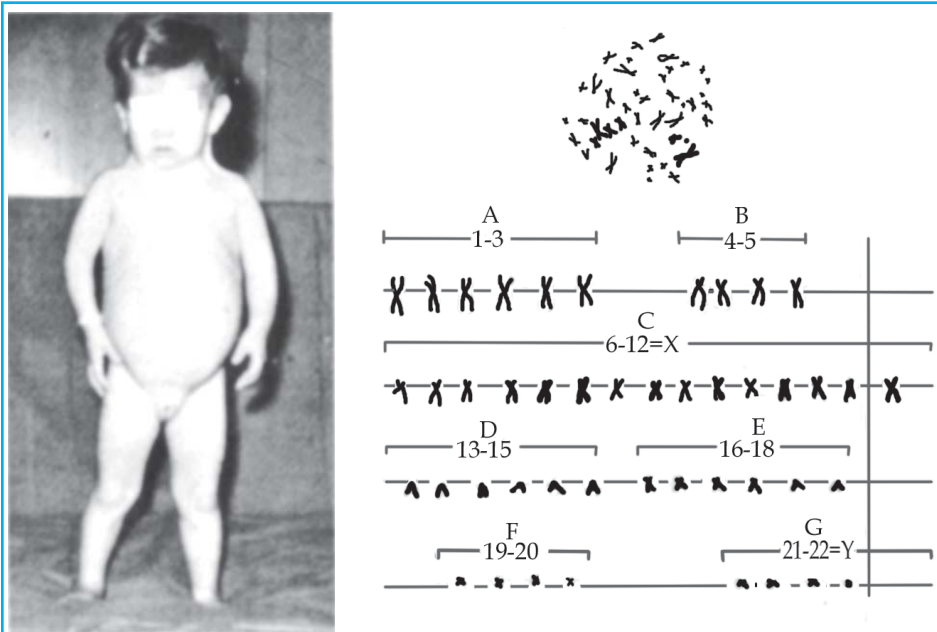
Peristiwa aneuploid dapat terjadi pada manusia, sehingga mengakibatkan sindrom, di antaranya sebagai berikut.

### a) Sindrom Turner

Sindrom turner ditemukan oleh **H.H. Turner** pada tahun 1938. Sindrom ini terjadi pada individu yang kehilangan kromosom Y sehingga hanya mempunyai kromosom X. Individu pada penderita sindrom turner berjenis kelamin perempuan. Sindrom turner memiliki susunan kromosom  $22AA + XO$  atau  $45,XO$ . Penderita sindrom turner memiliki karakteristik antara lain:

- (1) gonad abnormal dan steril;
- (2) tubuh pendek;
- (3) payudara tidak berkembang dengan baik;
- (4) memiliki leher yang bersayap;
- (5) Terjadi keterbelakangan mental;
- (6) Terdapat kelainan kardiovaskuler.

Agar lebih jelas tentang kelainan tersebut dapat Anda perhatikan Gambar 6.4!



Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

Gambar 6.4  
Penderita sindrom turner dan kariotipnya

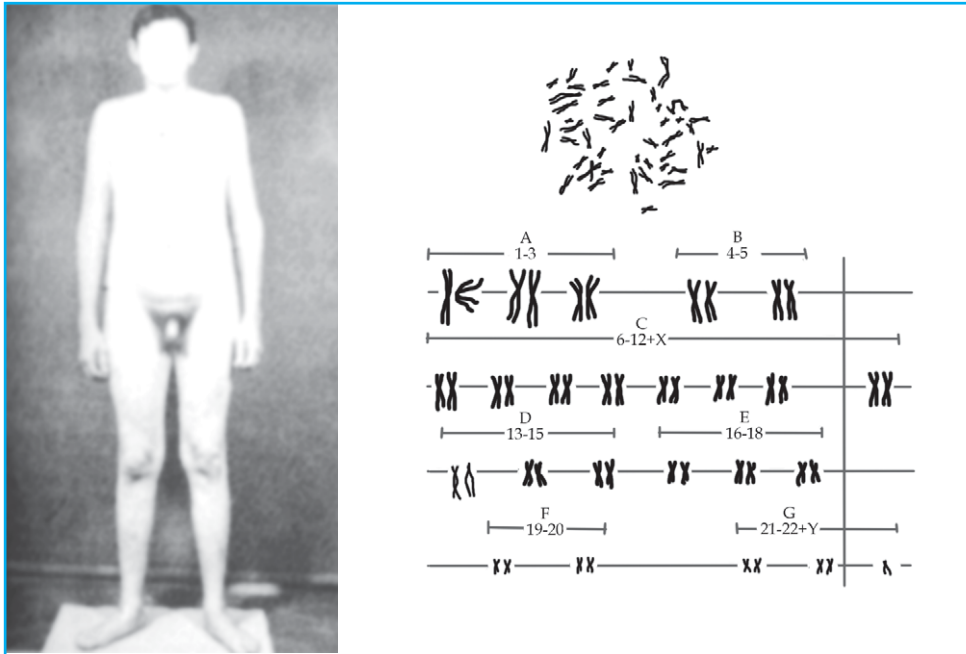
### b) Sindrom Klinefelter

Sindrom ini ditemukan oleh **Klinefelter** pada tahun 1942. Sindrom klinefelter merupakan suatu keadaan pada individu yang mempunyai kelebihan satu kromosom, sehingga susunan kromosomnya adalah  $22AA + AAY$  atau  $47,XXY$ . Sindrom klinefelter terjadi pada seorang laki-laki. Penderita ini memiliki 47 kromosom, termasuk satu kromosom Y dan dua kromosom X.

Penderita sindrom klinefelter memiliki ciri-ciri antara lain:

- (1) memiliki ukuran tubuh yang tinggi;
- (2) memiliki tangan dan kaki yang lebih panjang;
- (3) gonad tidak berkembang sehingga bersifat steril;
- (4) payudara berkembang;
- (5) terjadi keterbelakangan mental.

Agar lebih jelas tentang kelainan tersebut, Anda dapat memperhatikan Gambar 6.5 di bawah ini!



Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

Gambar 6.5  
Penderita sindrom klinefelter dan kariotipnya

### c) Sindrom Edwards

Sindrom edwards ditemukan oleh **I.H. Edwards**. Penderita sindrom ini mengalami peristiwa *trisomi* pada kromosom ke-16, 17, dan 18.

Sindrom edwards memiliki ciri-ciri antara lain:

- (1) berumur pendek, usia rata-rata hanya 6 bulan;
- (2) tengkorak berbentuk agak lonjong;
- (3) memiliki bentuk mulut yang lebih kecil;
- (4) bentuk dada pendek dan lebar;
- (5) memiliki letak telinga yang lebih rendah.

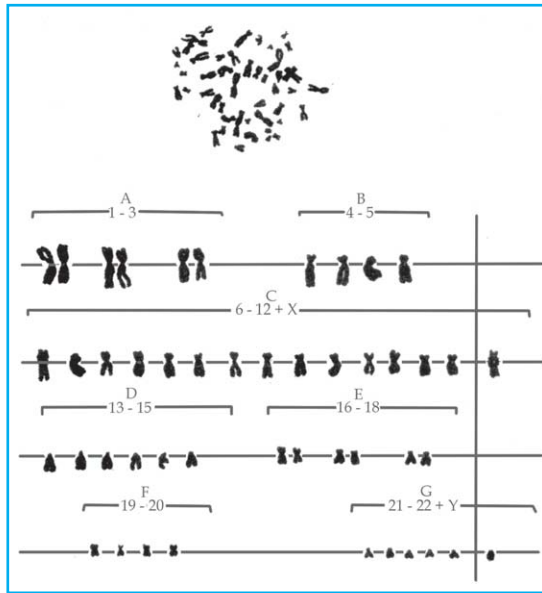
### d) Sindrom Down

Sindrom down ini mula-mula diteliti oleh **Langdon Down** pada tahun 1866. Kondisi ini diberi istilah idiot mongoloid. Keadaan yang terjadi penderita pada sindrom down disebabkan karena adanya suatu ekstra kopi salah satu kromosom yang terkecil pada *trisomi* 21. Kariotipe pada penderita sindrom down dapat dilihat pada Gambar 6.6.

Penderita sindrom down akan memiliki karakteristik seperti berikut.

- (1) Pada bayi yang baru lahir terdapat garis-garis pada kedua telapak tangannya yang disebut dengan sidik dermatoglifik.
- (2) Memiliki badan yang pendek.

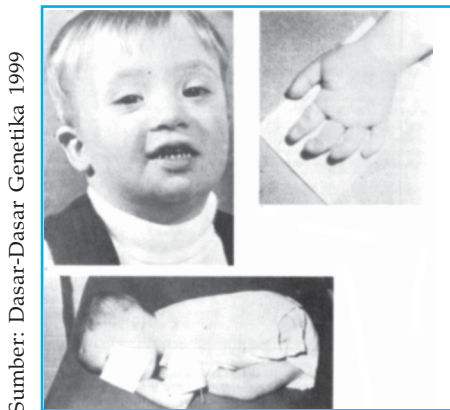
- (3) Memiliki bentuk wajah agak bulat.
- (4) Memiliki bentuk mata yang sipit.
- (5) Keadaan mulut sering terbuka.
- (6) Memiliki kelainan pada jantung.
- (7) Biasanya memiliki IQ rendah yaitu di bawah 75.
- (8) Aktivitas gerakanya lambat.
- (9) Memiliki hidup yang lebih pendek daripada individu yang normal, yaitu sekitar 16 tahun.



Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

Gambar 6.6  
Kariotipe penderita sindrom down

Ciri-ciri penderita sindrom down dapat Anda lihat pada Gambar 6.7 di bawah ini!



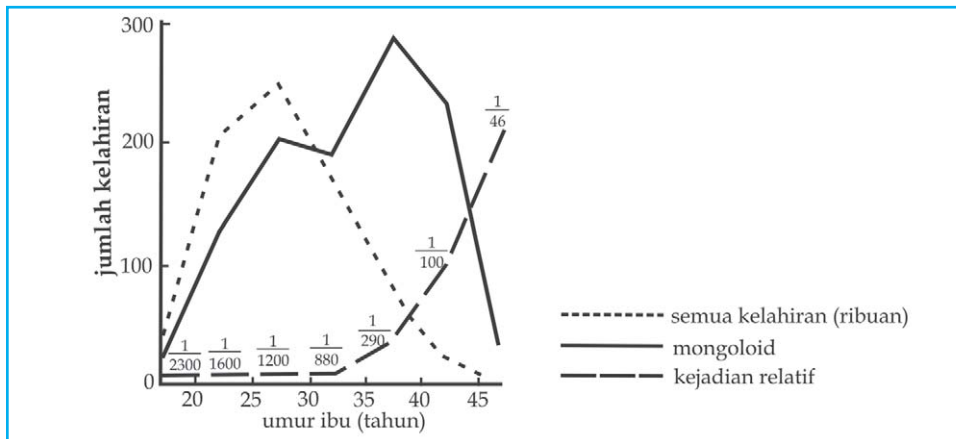
Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

Keterangan:

- A. Ciri-ciri wajah yang khas
- B. Lipatan simia pada telapak tangan
- C. Kelemahan otot

Gambar 6.7  
Bentuk kelainan pada sindrom down

Peningkatan umur ibu yang mengandung janin diduga mengakibatkan tendensi bagi terjadinya penyimpangan ini. Korelasi antara kejadian sindrom down dan umur bapak adalah kecil. Korelasi antara penderita sindrom down dengan umur ibu dapat terlihat pada Gambar 6.8 berikut ini!



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 6.8 Grafik Kejadian sindrom down pada kelahiran

### e) Sindrom Patau

Sindrom patau merupakan suatu keadaan pada individu yang mengalami trisomi pada kromosom ke-13, 14, dan 15. Penderita sindrom patau memiliki karakteristik sebagai berikut.

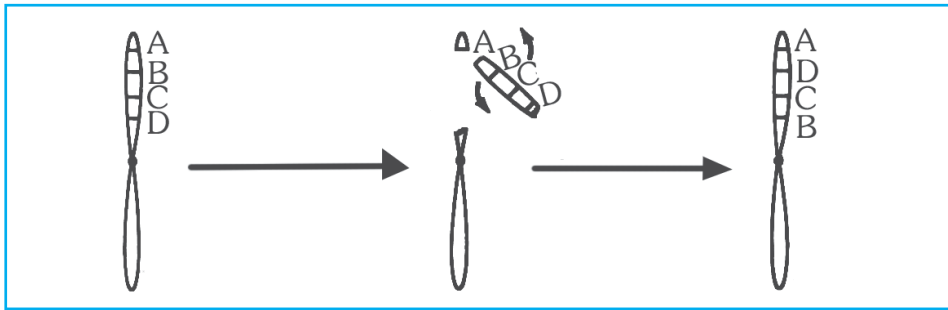
- (1) Berumur pendek, umumnya meninggal pada usia 3 bulan.
- (2) Memiliki polidaktili.
- (3) Ukuran struktur otak lebih kecil.
- (4) Mengalami keterbelakangan mental.
- (5) Bagian bibir memiliki celah.
- (6) Mengalami kelemahan pada jantung dan kelainan pada usus.

### b. Mutasi karena Perubahan Struktur Kromosom

Perubahan struktur kromosom mengakibatkan kerusakan bentuk kromosom yang disebut *aberasi*. Beberapa peristiwa perubahan struktur kromosom, antara lain seperti berikut.

#### 1) Inversi

*Inversi* merupakan mutasi yang terjadi karena perubahan letak gen akibat terpinlannya kromosom pada saat meiosis sehingga terbentuk *kiasma*. Tipe kelainan kromosom ini sulit diidentifikasi secara visual. Pada peristiwa inversi, urutan gen menjadi terbalik yang disebabkan karena kromosom pecah menjadi dua bagian, bagian tengahnya menyisip kembali dalam urutan terbalik. Proses inversi ini dapat Anda lihat dengan jelas pada Gambar 6.9!



Gambar 6.9 Proses inversi

Dari Gambar 6.9 di atas terlihat hasilnya adalah kromosom yang urutannya terbalik. Kromosom-kromosom homolog kadang-kadang akan menunjukkan pembentukan gelang pada waktu sinapsis bila salah satu kromosom mengandung urutan yang terbalik, seperti yang terlihat pada Gambar 6.10 di bawah ini!

Berdasarkan letak sentromernya, inversi dapat dibedakan seperti berikut.

#### a) Inversi Perisentrik

Inversi ini terjadi karena dua bagian yang patah terletak pada lengan kromosom yang berlainan sehingga sentromer terdapat di antara dua bagian yang patah.

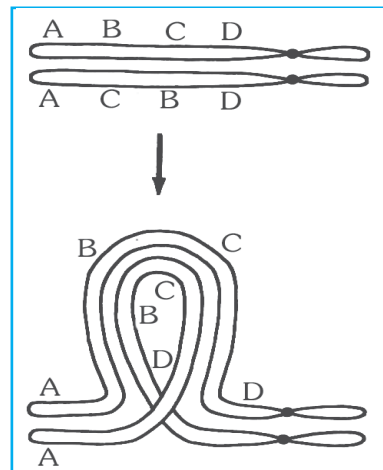
#### b) Inversi Parasentrik

Inversi ini terjadi karena dua bagian yang patah terletak pada satu lengan kromosom.

### 2) Translokasi

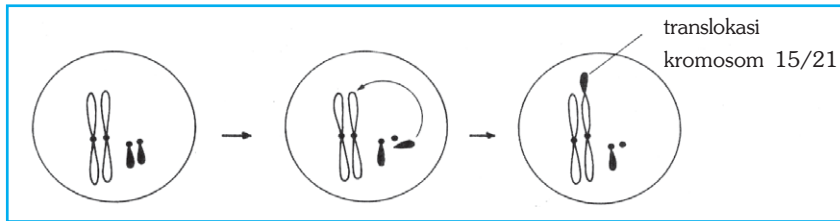
*Translokasi* adalah peristiwa perpindahan potongan kromosom menuju kromosom lain yang bukan homolognya. Translokasi dapat menyebabkan kromosom yang terjadi lebih panjang atau lebih pendek dari sebelumnya.

Pada kondisi ini, sepotong kromosom terlepas dan menautkan diri pada kromosom lain, seperti dapat Anda lihat pada Gambar 6.11!



Gambar 6.10

Homolog-homolog yang menunjukkan pembentukan gelang pada waktu sinapsis



Gambar 6.11 Proses translokasi

Proses tersebut menunjukkan peristiwa translokasi yang melibatkan kromosom 15 dan 21. Suatu bagian dari kromosom 21 bertaut pada kromosom 15.

Pada waktu meiosis, salah satu gamet dapat menerima sepotong kromosom ekstra (tambahan). Jika gamet ini terlibat dalam fertilisasi, maka zigot akan memiliki sepotong kromosom ekstra seperti pada trisomi. Gamet yang dihasilkan dari meiosis dalam sel pada Gambar 6.11 ada kemungkinan dapat hidup meskipun mengandung kromosom translokasi. Seseorang yang tumbuh dari gamet tersebut disebut pembawa (carrier) translokasi. Agar lebih jelas tentang hal ini, cobalah Anda perhatikan Gambar 6.12!

Ada beberapa macam peristiwa translokasi antara lain:

a) Translokasi Homozigot

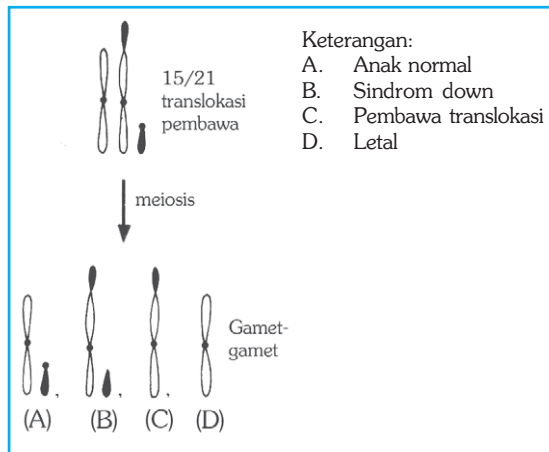
Translokasi homozigot adalah pertukaran segmen kedua kromosom homolog dengan segmen kedua kromosom yang bukan homolognya.

b) Translokasi Heterozigot

Pada translokasi ini terjadi pertukaran satu segmen kromosom ke satu segmen kromosom yang bukan homolognya.

c) Translokasi Resiprok

Translokasi resiprok terjadi apabila terdapat dua patahan pada dua ujung yang bukan homolognya masing-masing di satu tempat. Patahan kromosom akan menyambung kembali tapi bertukar tempatnya. Peristiwa ini dapat dijelaskan dengan Gambar 6.13!

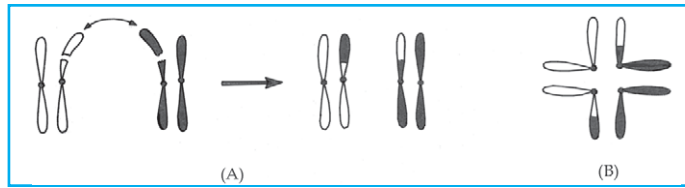


Keterangan:

- A. Anak normal
- B. Sindrom down
- C. Pembawa translokasi
- D. Letal

Gambar 6.12  
Kromosom pembawa translokasi dan gamet-gamet yang diproduksinya





Gambar 6.13  
Translokasi resiprok

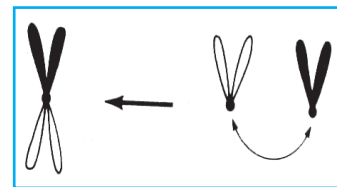
Sumber: Dasar-Dasar  
Genetika 1999

*Keterangan Gambar 6.13:*

- A. *Pertukaran resiprok bagian-bagian kromosom antarnonhomolog*
- B. *Konfigurasi bentuk silang pada waktu sinapsis untuk memungkinkan perpasangan gen ke gen*

#### d) Translokasi Robertson

Translokasi Robertson terjadi apabila kromosom-kromosom akrosentris yaitu kromosom-kromosom dengan sentromer pada satu ujung sehingga kromosom yang sesungguhnya hanya mempunyai satu tangan, menyatu pada sentromer membentuk kromosom-kromosom metasentris, seperti terlihat pada Gambar 6.14!



Gambar 6.14  
Translokasi Robertson

Sumber: Dasar-dasar  
Genetika 1999

Dari Gambar 6.14 terlihat penyatuan-penyatuan tersebut dapat terjadi antarhomolog atau nonhomolog. Peristiwa ini biasanya terjadi pada hewan, misalnya tikus, sedangkan pada tumbuhan jarang terjadi.

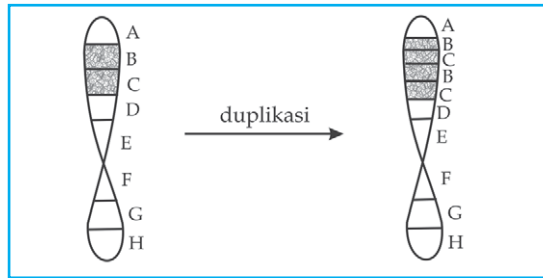
Berbagai peristiwa translokasi akan menjadikan individu menjadi semisteril, ada separo zigot tidak terjadi. Peristiwa-peristiwa translokasi dapat dijumpai pada kehidupan sehari-hari, di antaranya:

- a) sindrom orofaciodigital, sindrom ini mempunyai ciri yaitu cacat pada bibir atas, jari-jari kaki berukuran gemuk, dan kuku pendek.
- b) biji pada tongkol jagung, ada yang sebagian normal dan ada juga yang sebagian tidak normal.
- c) terjadinya mongolisme translokasi

### 3) Duplikasi

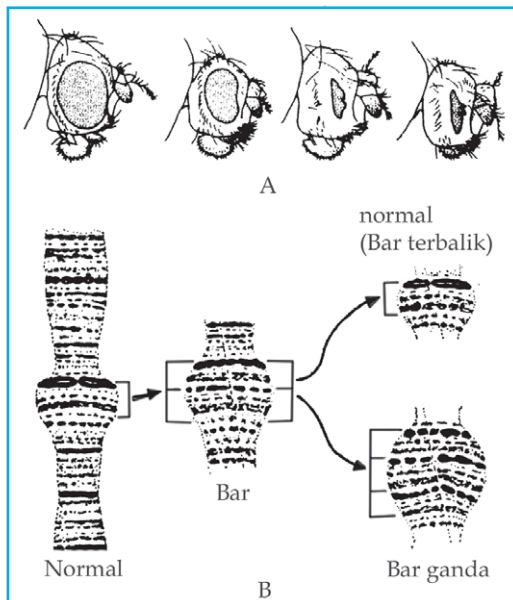
*Duplikasi* merupakan peristiwa penambahan dan penggandaan patahan kromosom dari kromosom lain yang sehomolog. Duplikasi dapat dilihat pada Gambar 6.15!

Peristiwa duplikasi ini dapat dijumpai pada kehidupan di antaranya dapat ditemukan pada fragile X sindrom yang menyebabkan kemunduran pada mental. Selain itu dapat ditemukan pula pada mutasi-mutasi bar dalam *Drosophilla melanogaster* yang mengakibatkan kelainan struktur mata yang disebabkan oleh duplikasi suatu daerah dalam kromosom X yang diperlihatkan oleh pola barik dari kromosom politen, seperti yang terlihat pada Gambar 6.16 di bawah ini!



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 6.15 Proses duplikasi



Keterangan Gambar 6.16:

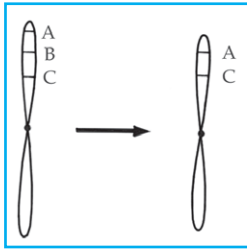
- A. Fenotipe bentuk mata yang berubah
- B. Duplikasi barik-barik pada kromosom

Gambar 6.16  
Mata *Drosophilla melanogaster*

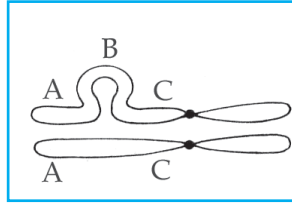
#### 4) Delesi

*Delesi* merupakan peristiwa pengurangan suatu kromosom akibat sebagian kromosom pindah pada kromosom lain, karena adanya patahan. Salah satu sindrom pada manusia yang disebabkan oleh delesi yaitu sindrom **cri-du-chat**. Delesi dapat dijelaskan melalui Gambar 6.17.

Sumber: Dasar-Dasar  
Genetika 1999



Gambar 6.17  
Delesi



Gambar 6.18  
Formasi gelang pada  
saat sinapsis

Sumber: Dasar-Dasar  
Genetika 1999

Pada Gambar 6.17 terlihat adanya kehilangan bagian dari kromosom. Pada keadaan ini biasanya akan mengakibatkan formasi gelang pada waktu sinapsis, seperti terlihat pada Gambar 6.18.

Peristiwa delesi yang sudah dijelaskan tersebut dapat terjadi pada kehidupan sehari-hari terutama pada manusia, antara lain ditemukan kelainan-kelainan berikut.

#### a) **Actino Mongolisme**

Sindrom Actino mongolisme memiliki karakteristik antara lain:

- (1) cenderung berumur pendek;
- (2) mata mengalami kerusakan sejak dilahirkan;
- (3) letak telinga agak rendah;
- (4) memiliki struktur pada puncak hidung agak lebar.

#### b) **Sindrom Cri-du-chat**

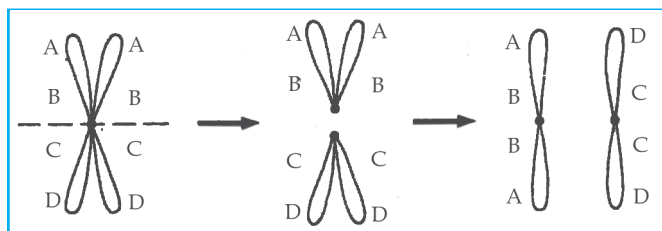
Sindrom cri-du-chat terjadi pada anak yang dilahirkan dengan delesi pada kromosom nomor 5.

Sindrom cri-du-chat memiliki karakteristik antara lain:

- (1) memiliki pita suara yang sempit dan epiglotis melengkung sehingga karena strukturnya tersebut sindrom ini pada saat bayi memiliki tangisan seperti suara kucing;
- (2) mengalami kemunduran mental ;
- (3) mengalami keterlambatan pada pertumbuhannya ;
- (4) memiliki struktur muka yang bulat dan kepala kecil.
- (5) penderita biasanya meninggal ketika masih bayi atau anak-anak.

### 5) **Isokromosom**

Isokromosom merupakan mutasi kromosom yang terjadi pada waktu menduplikasikan diri. Kondisi ini bertentangan dengan translokasi Robertson. Coba Anda ingat kembali tentang translokasi Robertson dan bandingkanlah peristiwa isokromosom seperti terlihat pada Gambar 6.19!



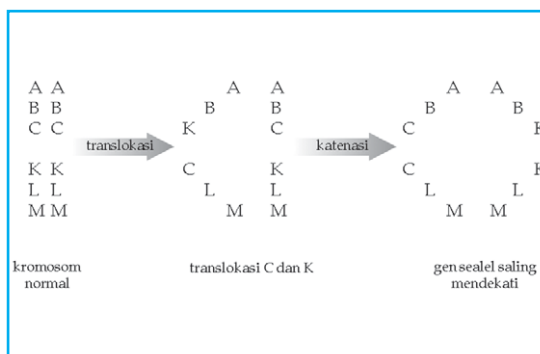
Sumber: Dasar-dasar Genetika 1999

Gambar 6.19  
Pembentukan dua isokromosom akrosentris

Gambar 6.19 memperlihatkan pada peristiwa isokromosom terjadi pembelahan suatu kromosom metasentris yang berduplikasi pada sentromer membentuk dua isokromosom akrosentris, dengan duplikasi terbalik secara genetis pada kedua tangannya. Peristiwa tersebut dapat dilihat dalam kariotipe dari banyak spesies tumbuhan dan hewan.

## 6) Katenasi

Katenasi merupakan peristiwa saling menempelnya ujung-ujung kromosom yang saling berdekatan sehingga membentuk lingkaran. Hal ini dimulai dari patahnya kromosom di dua tempat, kemudian bagian yang patah tersebut lepas dan saling mendekat. Peristiwa katenasi ini biasanya didahului dengan translokasi. Agar lebih jelas perhatikan Gambar 6.20!



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 6.20 Katenasi

## TUGAS INDIVIDU

Terdapat kromosom homolog dengan susunan gen seperti di bawah ini.

A B C D E F

A B C D E F

**Pertanyaan.**

1. Susunlah kromosom baru yang terbentuk karena mengalami mutasi sebagai berikut!
  - a. inversi
  - b. delesi
  - c. translokasi
  - d. duplikasi
2. Apakah dampak peristiwa mutasi di atas?
3. Carilah contoh mutasi kromosom dan gen melalui literatur yang lain misalnya internet!

**B****MACAM-MACAM MUTASI**

Pada materi di depan telah dijelaskan mutasi yang terjadi pada tingkatan gen maupun kromosom. Mutasi juga dapat dibedakan menjadi beberapa macam, di antaranya seperti berikut.

**1. Berdasarkan Tempat Terjadinya**

Macam-macam mutasi berdasarkan tempat terjadinya terdiri atas:

**a. Mutasi Somatik**

Mutasi ini terjadi pada sel-sel tubuh dan dampaknya hanya dirasakan pada individu tersebut dan tidak diturunkan. Faktor-faktor yang menyebabkan mutasi somatik, antara lain sinar radioaktif, sinar ultraviolet, dan obat-obatan atau zat-zat yang bersifat mutagenik.

Ketika seorang ibu mengandung janinnya, kemudian minum obat yang bersifat mutagenik atau terkena sinar radioaktif maka hal ini dapat berpengaruh terhadap janinnya, yang akan menyebabkan cacat bawaan ketika lahir. Mutasi seperti ini dapat terjadi pada zigot maupun embrio. Apabila terjadinya mutasi pada saat berupa zigot dampaknya akan lebih besar dibandingkan dengan pada saat berupa embrio.

Pada sel-sel dewasa mutasi juga dapat terjadi di antaranya disebabkan oleh sinar ultraviolet dan zat-zat tertentu yang bersifat mutagenik. Dampak dari mutasi yang sering ditemukan pada orang dewasa adalah terjadinya sel-sel kanker, yaitu suatu keadaan sel-sel tubuh yang membelah lebih cepat dan tidak terkontrol sehingga dapat mengganggu fungsi jaringan tubuh lainnya. Sinar ultraviolet dapat mengakibatkan kanker kulit. Zat-zat aditif, misalnya pewarna, perasa dan pengawet buatan yang berada pada makanan dalam jumlah tertentu juga dapat berpengaruh terhadap terbentuknya sel-sel kanker.

## b. Mutasi Germinal

Mutasi ini terjadi pada sel-sel gamet dan memiliki sifat dapat diwariskan. Mutasi germinal dapat dialami oleh gen-gen yang terdapat pada kromosom autosomal yang disebut dengan *mutasi autosomal*. Hasil mutasi autosomal dapat berupa mutasi dominan atau mutasi resesif. Mutasi germinal juga dapat terjadi pada kromosom kelamin yang disebut dengan mutasi tertaut kelamin.

### • TUGAS KELOMPOK

**Bentuklah kelompok untuk mendiskusikan permasalahan berikut!**

Seorang ibu yang sedang hamil merasa khawatir kepada janin yang dikandungnya. Kekhawatirannya disebabkan karena ia adalah seorang karyawan laboratorium pada pabrik bahan kimia dasar. Mengapa ibu tersebut khawatir terhadap janinnya?

1. Diskusikanlah dengan teman-teman!
2. buat kesimpulan!
3. presentasikan!

## 2. Berdasarkan Sifat Genetiknya

Macam-macam mutasi berdasarkan sifat genetiknya terdiri atas:

### a. Mutasi dominan

Mutasi ini memperlihatkan pengaruhnya pada kondisi heterozigot.

### b. Mutasi resesif

Mutasi ini terjadi pada organisme diploid (misalnya manusia) dan tidak diketahui dalam keadaan heterozigot, kecuali resesif pautan seks.

## 3. Berdasarkan Sumbernya

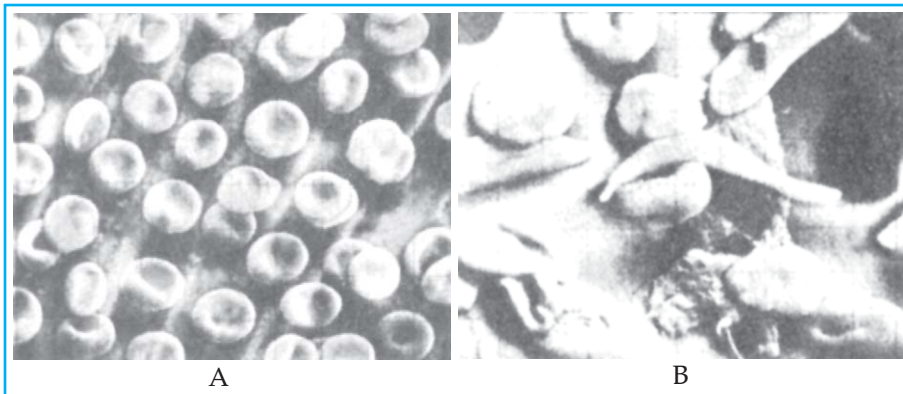
### a. Mutasi Alam

Mutasi alam adalah mutasi yang terjadi dengan sendirinya atau penyebabnya tidak diketahui secara pasti sehingga mutasi ini terjadi secara spontan. Mutasi alam ini diduga disebabkan oleh sinar kosmis (proton, positron, photon), sinar radioaktif (uranium), sinar ultraviolet, dan radiasi ionisasi internal, yaitu bahan radioaktif dalam suatu jaringan tubuh yang berpindah masuk ke jaringan lainnya.

Mutasi alami ini dampaknya dapat terjadi pada kehidupan baik manusia, hewan, maupun tumbuhan, antara lain seperti berikut.

1) Anemia sel sabit (*anemia sickle sel*)

Pada penyakit ini terlihat bahwa homozigot-homozigot resesif mengandung sel-sel darah abnormal yang pada kondisi tertentu misalnya tekanan oksigen rendah maka sel darah ini akan kehilangan bentuknya yang normal dan berubah menjadi bentuk sabit. Strukturnya dapat Anda lihat pada Gambar 6.21 berikut ini.



Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

Gambar 6.21

A. Sel-sel darah merah normal, B. Sel-sel darah merah sabit

2) Kaki pendek pada domba Ancon

Penemuan domba ini dilaporkan oleh **Seth Wright**. Peristiwa ini bersifat menurun.

3) Albinisme

Albinisme merupakan suatu kondisi pada tubuh seseorang yang kekurangan pigmen kulit, sehingga kulit menjadi lebih terang.

4) Hidrosefalus

Kelainan ini merupakan pembesaran kepala karena menumpuknya cairan di bagian kepala.

5) Diabetes melitus (kencing manis)

6) Warna pada mata *Drosophilla melanogaster*

7) Warna pada biji jagung dan kacang ercis

Apabila diamati, sifat-sifat yang diwariskan oleh mutan alam ini umumnya bersifat resesif dan merugikan bagi mutan sendiri atau keturunannya. Biasanya mutan tidak dapat bertahan hidup, tetapi jika ada yang hidup, hal itu disebabkan mutan dapat beradaptasi dengan lingkungannya kemudian menjadi varietas baru.

## b. Mutasi Buatan

Mutasi buatan adalah mutasi yang terjadi akibat campur tangan manusia. Mutasi buatan ini memang sengaja dibuat oleh manusia untuk suatu kepentingan tertentu dan diambil manfaatnya. Mutasi buatan ini merupakan awal dari lahirnya rekayasa genetika dalam bidang bioteknologi. Mutasi buatan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain pemakaian bahan radioaktif untuk memperoleh bibit unggul, penggunaan radiasi peng-ion, pemakaian bahan kolkisin, dan penggunaan sinar X.

Peristiwa mutasi buatan ini dapat ditemui pada kehidupan sehari-hari, misalnya:

- 1) penemuan padi Atomita I dan Atomita II;
- 2) tanaman gandum dapat berbunga dan berbuah lebih cepat;
- 3) teknik jantan Mendel dalam metode pemberantasan hama;
- 4) warna warni pada bunga rose antara lain kuning, ungu, oranye, dan lain-lain;
- 5) dihasilkannya buah semangka dan tomat tanpa biji, seperti dijelaskan pada Gambar 6.1 di depan.

Contoh-contoh mutasi buatan tersebut merupakan mutasi yang menguntungkan bagi manusia. Cobalah Anda cari peristiwa mutasi buatan lain dalam kehidupan sehari-hari yang Anda temui!

Untuk lebih memahami tentang mutasi, lakukan Tugas Kelompok ini!

### • TUGAS KELOMPOK

**Jenis kegiatan** : Diskusi dan presentasi

**Tujuan** : Memahami peristiwa mutasi dan modifikasi yang terjadi pada kehidupan sehari-hari

**Langkah kerja:**

1. Buatlah beberapa kelompok dari teman sekelas Anda
2. Diskusikan dan presentasikan materi di bawah ini!
  - a. Susunlah beberapa peristiwa hasil dari proses mutasi dan modifikasi yang terjadi pada kehidupan sehari-hari!
  - b. Mutasi merupakan bagian dari timbulnya keanekaragaman spesies. Jelaskan!



- c. Pada uraian materi dijelaskan tentang mutasi tingkat gen dan kromosom. Dari dua mutasi tersebut, mana yang mempunyai efek pewarisan lebih nyata?
  - d. Mutasi buatan merupakan rekayasa genetika. Jelaskan!
3. Tuliskan hasil diskusi di buku tugas Anda!
  4. Presentasikan hasilnya di depan kelas!

## **C** MUTAGEN

Coba Anda perhatikan kembali Gambar 6.1 di depan! Buah semangka tanpa biji yang dihasilkan tersebut terjadi akibat dari perlakuan manusia dengan menggunakan bahan kimia yang berupa kolkisin. Hal ini dilakukan karena manusia ingin mengambil manfaat dari peristiwa ini. Anda tentu akan lebih senang makan buah semangka tanpa biji bukan? Usaha-usaha lain yang dilakukan oleh manusia untuk dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari masih banyak sekali.

Zat kimia kolkisin yang disebutkan di atas disebut *mutagen*, karena dapat menyebabkan perubahan sifat pada buah semangka. Jadi apakah mutagen itu? Mutagen merupakan segala sesuatu yang menyebabkan terjadinya mutasi. Mutagen dapat dibedakan berdasarkan faktor penyebabnya.

### **1. Mutagen Biologi**

Mutagen biologi merupakan mutagen yang terdiri atas makhluk hidup. Mutagen biologi ini antara lain berupa virus dan bakteri.

#### **a. Bakteri**

Pada pelajaran di kelas X yang lalu Anda sudah mempelajari tentang bakteri. Coba Anda ingat kembali kerugian dan keuntungan apa saja yang ditimbulkan oleh bakteri!

#### **b. Virus**

Ingat pula pelajaran tentang virus di kelas X. Virus dapat menyebabkan mutasi dan merugikan pada manusia, di antaranya virus rubella yang dapat menyebabkan kerusakan pada jantung, mata (katarak), dan telinga (tuli). Selain itu, virus hepatitis juga dapat menyebabkan aberasi pada darah dan sumsum tulang sehingga dapat menyebabkan terjadinya peristiwa mutasi.

## 2. Mutagen Kimia

Mutagen kimia disebabkan oleh bahan kimia, antara lain kolkisin, antibiotik, alkohol, asam nitrit, aminopurin, alkilase, dan lain-lain.

Untuk dapat memahami pengaruh penggunaan bahan kimia tersebut, lakukan Kegiatan Kelompok berikut!

### KEGIATAN KELOMPOK 2

- |                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| <b>Tujuan</b>         | : | Menyelidiki dan mengetahui pengaruh penggunaan kolkisin   |
| <b>Alat dan bahan</b> | : | 1. Gelas kimia besar<br>2. Pinset<br>3. Polybag<br>4. Larutan kolkisin 0,1%<br>5. Biji kecambah |
| <b>Cara Kerja</b>     | : |   |
1. Ambillah biji kecambah, kemudian rendamlah dengan larutan kolkisin 0,1% selama 24 jam.
  2. Tanamlah hasil rendaman biji kecambah tersebut di dalam polybag.
  3. Tanamlah pula biji kecambah yang tidak direndam pada larutan kolkisin sebagai perbandingan.
  4. Amatilah pertumbuhannya selama beberapa minggu.
  5. Catatlah hasil pengamatan Anda.
  6. Diskusikan dengan teman-teman Anda mengenai hal-hal di bawah ini!
    - a. Apakah ada perbedaan pada pertumbuhan kedua macam perlakuan pada biji kecambah?
    - b. Bagaimana keadaan organ-organ kedua tumbuhan tersebut?
  7. Buatlah suatu kesimpulan dari percobaan kegiatan ini!
  8. Konsultasikan hasilnya dengan guru Biologi Anda!

Akibat dari mutagen kimia dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, antara lain:

- a. menyebabkan gangguan mental;
- b. terjadinya mikrosefalur (kepala kecil);

- c. terganggunya proses replikasi DNA;
- d. terjadinya kerusakan kromosom;
- e. timbulnya adiksi fisiologis (ketagihan).

Konsumsi minuman teh, kopi, maupun coklat juga dapat menyebabkan adiksi fisiologis. Penggunaan MSG pada makanan juga menjadikan kerusakan pada kromosom manusia.

### 3. Mutagen Fisika

Mutagen fisika terdiri atas bahan-bahan berikut.

#### a. Radiasi Peng-ion

Radiasi peng-ion dapat dilihat pada Gambar 6.22 di bawah ini!

Pada Gambar 6.22 terlihat hilangnya suatu elektron yang menyebabkan atom menjadi bermuatan listrik. Atom demikian dikenal sebagai ion. Atom-atom yang mengambil elektron juga akan menjadi ion-ion. Radiasi pengion terdiri atas unsur-unsur berikut.

##### 1) Zat radioaktif

Zat radioaktif ini secara alami dapat berasal dari kerak bumi. Zat-zat tersebut adalah uranium, thorium, dan radium.

##### 2) Sinar X

Sinar X biasa digunakan di rumah sakit. Radiasi sinar X yang berasal dari peralatan diagnostik medis bertujuan untuk pengobatan, tetapi pada dosis yang berlebih sinar X dapat mengakibatkan kerugian. Kerugian yang terjadi misalnya kanker dan dampak yang dapat diwariskan.

##### 3) Sinar kosmis

Sinar kosmis berasal dari matahari dan dalam jangka waktu tertentu dapat bersifat merugikan.

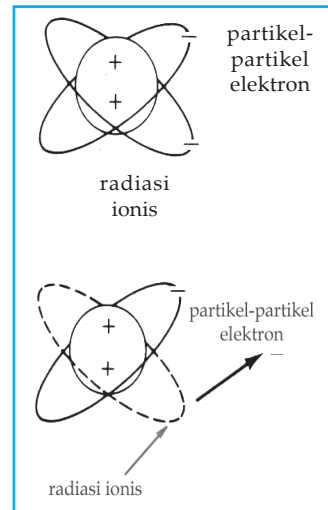
##### 4) Proton dan neutron

#### b. Radiasi Bukan Peng-ion

Radiasi bukan peng-ion berasal dari hal-hal berikut.

##### 1) Sinar ultraviolet

Sinar ultraviolet berasal dari matahari. Sinar ultraviolet dapat menyebabkan terjadinya kanker kulit.



Gambar 6.22  
Gambaran skematis dari  
dampak radiasi ionis

Sumber: Dasar-Dasar Genetika 1999

## 2) Suhu tinggi

Mutasi akan terjadi semakin cepat bila suhu tinggi. Peningkatan suhu sebesar 10° C akan menambah kecepatan mutasi menjadi 2 – 3 kali lipat.

### • TUGAS KELOMPOK

Cobalah Anda melakukan suatu kegiatan dengan menerapkan peristiwa mutasi. Lakukanlah pada tanaman budidaya, misalnya semangka. Berikan kolkisin pada tanaman tersebut. Kolkisin dapat dibeli di toko-toko obat tanaman. Bacalah petunjuk pemakaian kolkisin pada label. Dengan cara yang sama Anda dapat melakukannya pada tumbuhan yang saat ini baru digemari, misalnya *Aglonema* dan *Anthurium*.

Dari semua uraian di depan dapat diketahui bahwa peristiwa mutasi yang terjadi dalam kehidupan dapat diambil manfaatnya oleh manusia antara lain seperti berikut.

1. Dihasilkan buah-buahan tanpa biji, seperti semangka. Jika kita akan membudidayakan semangka maka perlu diperhatikan produksinya. Buah semangka akan memiliki nilai jual yang lebih baik jika berukuran besar dan tanpa biji. Untuk itu perlu dilakukan pemberian kolkisin. Kolkisin dapat dibeli di toko obat-obatan tanaman. Cara pemakaian kolkisin dapat dibaca pada label petunjuk pemakaian pada tanaman. Dengan penerapan mutasi ini dapat memberikan peluang usaha yang baik dalam meningkatkan hasil tanaman yang kita tanam, sehingga dapat meningkatkan pendapatan.
2. Dengan peristiwa mutasi dapat didapatkan tanaman hias yang memiliki nilai ekonomi tinggi, misalnya yang populer di masyarakat saat ini adalah tanaman hias *Aglonema*. Harga tanaman ini mencapai puluhan juta rupiah. Hal ini bisa dijadikan sebagai peluang bisnis yang menjanjikan. Varietas baru ini dapat dihasilkan dengan pemberian kolkisin pada tanaman.
3. Mutasi dapat meningkatkan hasil produksi pertanian, di antaranya gandum, tomat, kelapa poliploidi, kol poliploidi, dan sebagainya.
4. Hasil antibiotik, seperti mutan *Penicillium* akan lebih meningkat lagi.
5. Mutasi merupakan proses yang sangat berguna untuk evolusi dan variasi genetik

Selain memiliki nilai manfaat, ternyata mutasi juga memiliki nilai negatif dan menyebabkan kerugian pada manusia.

Beberapa kerugian yang disebabkan karena proses mutasi adalah sebagai berikut.

1. Terjadinya mutasi gen menyebabkan beberapa kelainan pada manusia antara lain sindrom turner, sindrom down, albino, anemia sel sabit, dan sebagainya.
2. Penemuan buah tanpa biji dapat mengakibatkan tanaman mengalami kesulitan untuk mendapatkan generasi penerusnya.
3. Pemberian insektisida yang tidak sesuai dosisnya dapat mengakibatkan mutasi pada hama sehingga akan menjadi resisten terhadap jenis insektisida yang sama. Hama yang resisten akan mengalami peledakan jumlah sehingga akan merusak tanaman budidaya.
4. Penggunaan sinar radioaktif pada proses mutasi dapat mengakibatkan tumbuhnya sel kanker dan cacat bawaan pada janin dalam rahim.

## RANGKUMAN

1. Peristiwa mutasi adalah terjadinya perubahan materi genetik yang akan diwariskan kepada keturunannya.
2. Individu yang mengalami mutasi disebut *mutan*, sedangkan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya mutasi disebut *mutagen*.
3. Peristiwa mutasi dapat terjadi pada tingkat *gen* dan *kromosom*.
4. Mutasi gen dapat terjadi karena pergantian pasangan basa nitrogen dan penyisipan basa nitrogen.
5. Peristiwa pergantian basa nitrogen antara lain *tranversi* dan *transisi*, sedangkan penyisipan basa nitrogen terlihat pada peristiwa *insersi* dan *delesi*.
6. Mutasi kromosom dapat terjadi karena perubahan jumlah kromosom yang meliputi *euploidi* dan *aneuploidi*, dapat disebabkan pula karena perubahan struktur kromosom yang meliputi *inversi*, *translokasi*, *duplikasi*, *delesi*, *isokromosom*, dan *katenasi*.
7. Berdasarkan sel yang mengalaminya, mutasi dapat dibedakan menjadi mutasi *somatik* dan *germinal*.
8. Mutasi berdasarkan kejadiannya meliputi mutasi alam dan buatan.
9. Mutagen biologi meliputi bakteri dan virus.
10. Mutagen kimia antara lain kolkisin, antibiotik, alkohol, asam nitrit, aminopurin, dan alkilase.
11. Mutagen fisika meliputi radiasi peng-ion dan radiasi bukan peng-ion.

**I. Pilihlah jawaban yang benar!**

1. Berdasarkan mutasi genetiknya, mutasi gen merupakan proses perubahan yang terjadi pada tempat-tempat berikut, *kecuali* ....
  - a. lokusnya
  - b. susunan molekul DNA
  - c. rantai sense dan antisensanya
  - d. basa purin dan pirimidinnya
  - e. basa nukleotida DNA
2. Transisi sebagai mutasi pergantian basa terjadi apabila ....
  - a. basa timin berpasangan dengan adenin
  - b. basa guanin berpasangan dengan sitosin
  - c. basa adenin berpasangan dengan guanin
  - d. basa kimia berpasangan dengan guanin
  - e. basa urasil berpasangan dengan timin
3. Mutasi gen dapat mempengaruhi terjadinya perubahan ....
  - a. genotipnya saja
  - b. fenotipnya saja
  - c. genotipe dan fenotipnya
  - d. genotipnya berubah, fenotipnya mungkin berubah mungkin tidak
  - e. fenotipe berubah, tetapi genotipnya tidak berubah
4. Pada penderita sindrom down kelainan yang terjadi pada kromosomnya disebut ....
  - a. monosomi
  - b. modifikasi
  - c. poliploid
  - d. aneuploid
  - e. trisomi
5. Sindrom Klinefelter disebabkan karena adanya perubahan kromosom pada sel tubuhnya. Penderita ini memiliki kelainan dari normalnya, dengan ciri-ciri ....
  - a. berkelamin pria, tetapi testisnya tidak tumbuh
  - b. tengkorak konjong, dada pendek lebar, dan telinga rendah
  - c. berkelamin wanita, tetapi ovarium tidak tumbuh
  - d. kepala kecil, mata kecil, dan telinga rendah
  - e. seperti orang mongolisme dengan kaki pendek

6. Mutasi gen dapat diwariskan kepada keturunannya jika mutasi terjadi di dalam ....
  - a. sel somatik
  - b. sel plasenta
  - c. sel uterus
  - d. sel kelamin
  - e. sel rahim
7. Inversi merupakan perubahan kromosom yang menyebabkan gen-gen mengalami perpindahan lokus dan dapat terjadi secara ....
  - a. submetasentris
  - b. metasentris
  - c. parasentris
  - d. translokasi
  - e. duplikasi
8. Suatu individu tampak mengalami perubahan besar dibandingkan sesama jenisnya. Dari penelitian diketahui bahwa kromosom individu tadi tetap sama seperti yang lain, tetapi isi kromosomnya mengalami perubahan. Berarti individu tersebut mengalami ....
  - a. aberasi
  - b. rekombinasi
  - c. mutasi gen
  - d. pindah silang
  - e. regenerasi
9. Suatu tanaman memiliki total kromosom 20. Tanaman tersebut diberi zat tertentu sehingga mengakibatkan terjadinya mutasi menjadi tanaman baru yang memiliki total kromosom 40. Tanaman baru ini dikatakan memiliki kromosom ....
  - a. diploid
  - b. monoploid
  - c. triploid
  - d. pentaploid
  - e. tetraploid
10. Kolkisin merupakan mutagen yang akan menyebabkan mutan ....
  - a. cepat berbuah
  - b. bersifat poliploid
  - c. terkena kanker
  - d. bersifat letal
  - e. mengubah DNA
11. Salah satu penyebab mutasi alam adalah ....
  - a. hereditas
  - b. sinar laser
  - c. sinar X
  - d. polusi
  - e. sinar kosmis
12. Virus dapat menimbulkan mutasi pada makhluk hidup karena ....
  - a. virus tersusun dari DNA
  - b. virus hanya dapat hidup pada jaringan hidup
  - c. virus tidak dapat hidup pada jaringan mati
  - d. virus dapat hidup pada sel gonad
  - e. virus dapat membentuk kristal

13. Mutasi yang tidak mengakibatkan hilangnya materi genetik keturunannya adalah ...
- a. mutasi pergeseran kerangka
  - b. translokasi
  - c. inversi
  - d. substitusi
  - e. delesi
14. Apabila rangkaian basa nitrogen pada suatu kromosom putus akan membentuk sebuah fragmen gen kemudian menempel kembali, tetapi pada posisi terbalik. Kejadian ini mengakibatkan mutasi ...
- a. duplikasi
  - b. translokasi
  - c. inversi
  - d. insersi
  - e. delesi
15. Kemungkinan mutasi pada organisme yang mengalami gagal berpisah pada salah satu pasang kromosom homolognya saat meiosis adalah ...
- a. trisomi
  - b. disomi
  - c. monosomi
  - d. monosomi dan trisomi
  - e. disomi dan monosomi

## **II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan benar!**

1. Apakah yang dimaksud mutasi, dan bagaimana proses terjadinya peristiwa ini?
2. Mengapa peristiwa mutasi sulit diamati?
3. Jelaskan faktor-faktor penyebab terjadinya mutasi tingkat gen dan kromosom!
4. Jelaskan kelainan-kelainan yang dapat terjadi pada manusia akibat adanya mutasi kromosom!
5. Jelaskan perbedaan dari mutasi alam dan buatan! Berikan masing-masing contohnya pada kehidupan sehari-hari!



**Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Di pasar tradisional atau supermarket kita sering menemukan buah-buahan tanpa biji, misalnya semangka dan tomat. Menurut Anda apakah penemuan tersebut memiliki nilai tambah bagi kehidupan manusia? Jelaskan pendapat Anda!
2. Di rumah sakit banyak dijumpai pasien-pasien yang sedang menjalani terapi suatu penyakit dengan menggunakan kemo-terapi. Menurut Anda, tindakan apakah yang perlu dilakukan agar pasien tersebut terhindar dari peristiwa mutasi akibat kemo-terapi?
3. Peristiwa mutasi dapat menghasilkan individu baru. Apakah dampak ditemukannya berbagai macam tumbuhan sebagai mutasi terhadap plasma nutfah? Jelaskan jawaban Anda disertai alasan yang tepat!
4. Pada peristiwa mutasi alam, individu yang dapat beradaptasi terhadap lingkungan akan dapat terus hidup. Coba Anda analisa, bagaimana peristiwa ini jika dikaitkan dengan terjadinya mekanisme evolusi makhluk hidup! Menurut Anda, apakah evolusi manusia masih terus berlangsung? Jelaskan!
5. Ketika seseorang menderita sakit terkadang dokter akan memberikan obat antibiotik kepada pasien tersebut dan akan menganjurkan kepada pasien untuk minum obat antibiotik secara teratur dan habis. Mengapa dokter tersebut menyarankan demikian? Apa akibatnya jika pasien tidak menuruti saran dokter tersebut? Kaitkanlah jawaban Anda dengan adanya proses mutasi!

## ULANGAN BLOK 1

### I. Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Penambahan fosfat pada suatu molekul organik memerlukan enzim ....
  - a. defosforilase
  - b. reduktase
  - c. oksidasi
  - d. dehidrasi
  - e. fosforilase
2. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis adalah ....
  - a. berasal dari udara
  - b. dikeluarkan melalui inti sel
  - c. hasil peruraian  $\text{CO}_2$
  - d. berasal dari air
  - e. terbentuk pada reaksi gelap
3. Menurut Mendel, pembastaran dengan dua sifat beda (dihybrid) akan menghasilkan rasio fenotipe pada F<sub>2</sub>, yaitu ....
  - a. 3 : 1
  - b. 1 : 2 : 1
  - c. 9 : 3 : 3 : 1
  - d. 9 : 7
  - e. 12 : 3 : 1
4. Peristiwa polimer akan menghasilkan ratio fenotipe ....
  - a. 15 : 1
  - b. 12 : 3 : 1
  - c. 9 : 7
  - d. 9 : 3 : 3 : 1
  - e. 12 : 4
5. Apabila sepasang suami istri memiliki golongan darah A, maka kemungkinan anak-anaknya akan bergolongan darah ....
  - a. A dan O
  - b. AB
  - c. O
  - d. A
  - e. B dan O
6. Bahan-bahan yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat gen atau kromosom disebut ....
  - a. mutasi
  - b. mutan
  - c. mutagen
  - d. mutagenesis
  - e. sindrom
7. Unsur yang membedakan antara ADN dan ARN adalah ....
  - a. golongan pirimidin: guanin dan sitosin
  - b. golongan pirimidin: timin dan urasil
  - c. golongan pirin: adenin dan timin
  - d. golongan purin: adenin dan sitosin
  - e. golongan purin: adenin dan guanin

8. Substansi hereditas yang merupakan senyawa kimia dan mengandung informasi genetik adalah ....
  - a. nukleoplasma
  - b. inti sel
  - c. kromosom
  - d. alela
  - e. gen
9. Urutan pembelahan mitosis yang benar adalah ....
  - a. metafase, anafase, profase, telofase, interfase
  - b. profase, metafase, anafase, telofase
  - c. profase, metafase, , anafase, interfase
  - d. profase, anafase, metafase, interfase
  - e. metafase, anafase, telofase, interfase
10. Fase saat sel beristirahat untuk menghimpun energi yang digunakan pada pembelahan berikutnya adalah ....
  - a. interfase
  - b. telofase
  - c. anafase
  - d. metafase
  - e. profase

## II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar!

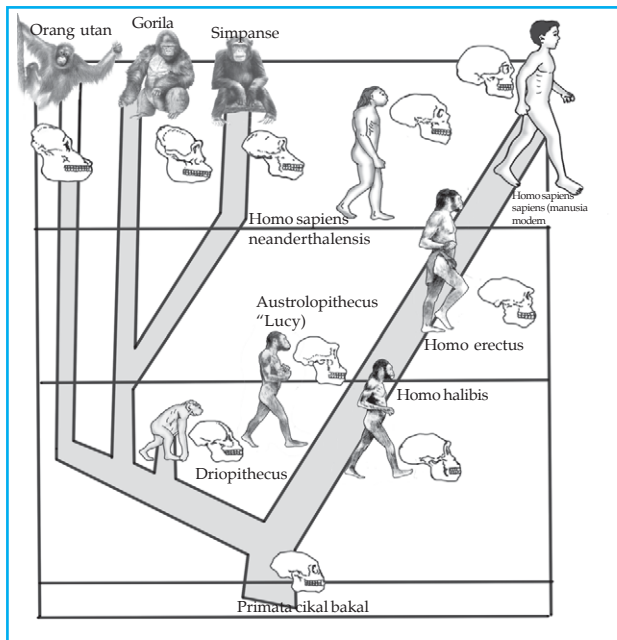
1. Apakah yang dimaksud dengan *katabolisme*? Berikan contohnya!
2.
  - a. Sebutkan jenis bakteri yang membantu pada proses *nitritasi* dari *amoniak* menjadi *asam nitrit*!
  - b. Sebutkan jenis bakteri yang membantu pada proses *nitratasi* dari *asam nitrit* menjadi *asam nitrat*!
3. Sebutkan dan jelaskan enam macam penyimpangan semu hukum Mendel dan berapa masing-masing rasio fenotipe F2-nya!
4. Apakah yang dimaksud dengan tautan? Bagaimana menguji ada tidaknya tautan dalam persilangan?
5. Apa yang Anda ketahui tentang buta warna? Sebutkan macam-macam buta warna!
6. Terangkan yang dimaksud dengan:
  - a. mutan
  - b. mutagen
  - c. mutagenesis
7. Apakah perbedaan antara euploidi dan aneuploidi?
8. Sebutkan perbedaan antara spermatogenesis dan oogenesis dengan memberikan gambar dan keterangan!
9. Jelaskan fungsi dan sifat-sifat gen!
10. Jelaskan perbedaan antara transkripsi dan translasi!

# BAB 7

## EVOLUSI

### Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang evolusi pada makhluk hidup. Dengan mempelajari materi pada bab ini Anda diharapkan dapat memahami teori evolusi serta mengetahui implikasinya pada sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat.



Sumber: Indonesian Heritage, 2000

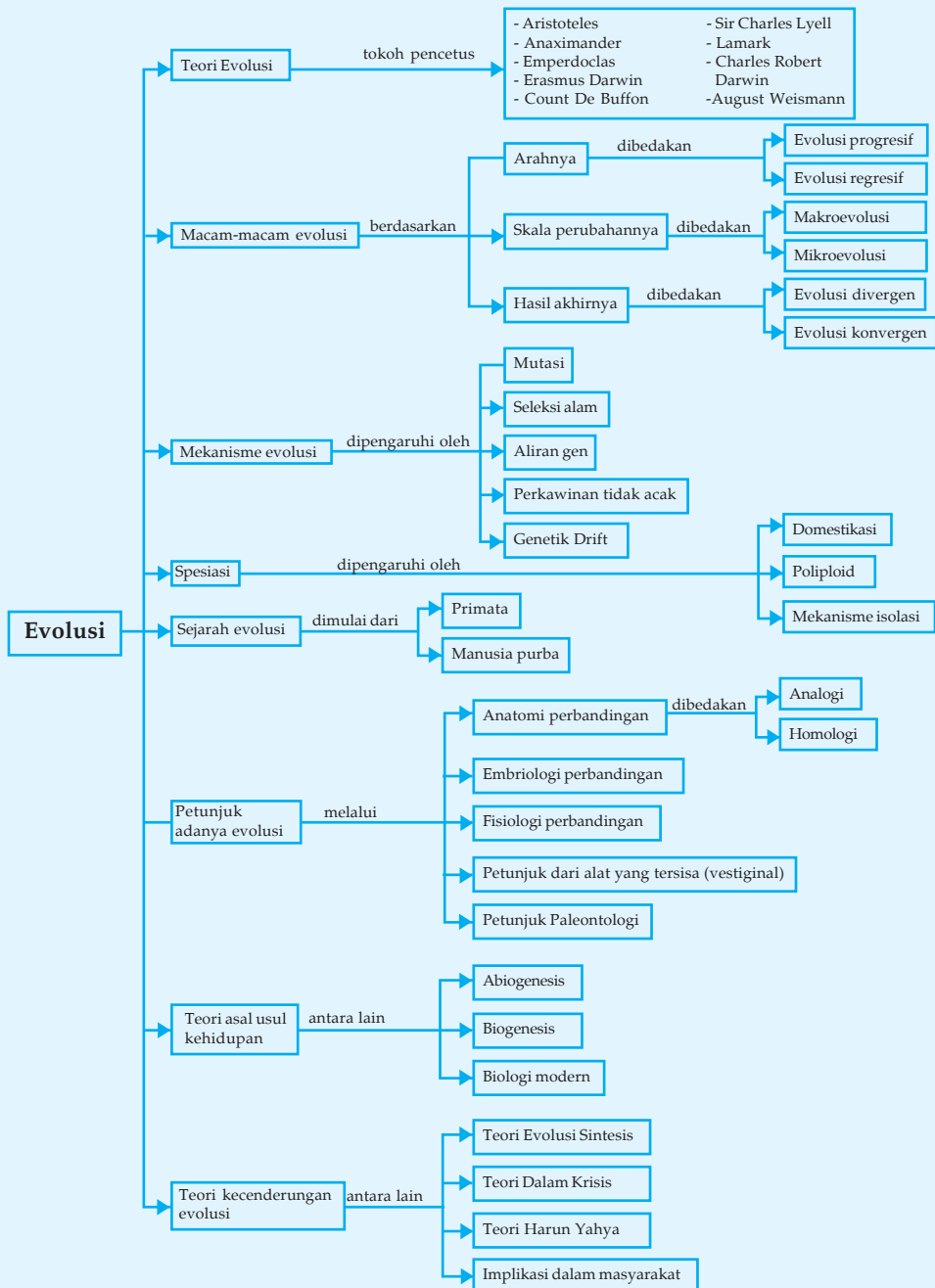
Gambar 7.1  
Evolusi manusia

### Kata Kunci

- evolusi
- fosil
- spesies
- homologi
- mutasi
- seleksi alam
- primata

Di dalam masyarakat banyak persepsi yang mengatakan bahwa manusia berasal dari kera, artinya nenek moyang manusia adalah kera. Pada saat belajar di SMP atau MTs dahulu Anda sudah pernah mempelajari tentang evolusi. Menurut Anda, benarkah persepsi yang terjadi pada masyarakat tersebut? Untuk mendukung analisa Anda coba cermati Gambar 7.1!

## PETA KONSEP



Berdasarkan Gambar 7.1, Anda dapat melihat bahwa manusia berasal dari primata sebagai cikal bakalanya, kemudian primata akan mengalami proses perubahan dan perkembangan lebih lanjut. Jika Anda amati, proses yang terjadi pada manusia dan gorila tidak terdapat pada jalur yang sama. Berarti, fakta kera bukanlah nenek moyang manusia, melainkan antara kera dan manusia memiliki cikal bakal yang sama, sehingga sekarang kera masih ada, bukan?

Proses yang dijelaskan pada Gambar 7.1 tersebut disebut evolusi. Jadi, menurut Anda apakah evolusi itu? Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang evolusi lebih lanjut.

## A TEORI EVOLUSI

Berdasarkan ilustrasi di depan Anda akan mendapatkan gambaran dan penjelasan tentang evolusi. Dari Gambar 7.1 terlihat bahwa evolusi tidak terlepas dari kehidupan masa lampau. Saat ini, kehidupan masa lampau itu hanya dapat ditemukan bukti-buktinya, yang berupa fosil. Pernahkah Anda melihat film-film tentang kehidupan dinosaurus atau kingkong? Film-film tersebut berusaha untuk memberikan gambaran tentang kehidupan masa lampau.

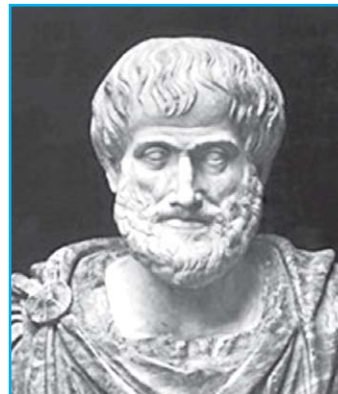
Semua makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya yang dapat muncul dengan variasi baru sehingga menyebabkan terjadinya keanekaragaman makhluk hidup. Adanya variasi-variasi tersebut dapat menyebabkan spesies baru. Peristiwa ini dikenal dengan istilah evolusi. Jadi, *evolusi* adalah proses kompleks pewarisan sifat organisme yang berubah dari generasi ke generasi dalam kurun waktu jutaan tahun.

Teori tentang evolusi merupakan teori yang tetap hangat dipertentangkan sampai saat ini. Banyak tokoh yang berpendapat tentang hal ini, tetapi belum ada satu teori yang dapat menjawab semua fakta dan kejadian tentang sejarah perkembangan makhluk hidup.

Beberapa teori dari para ahli yang menjadi dasar dari teori evolusi, di antaranya sebagai berikut.

### 1. Aristoteles (384 – 322 SM)

**Aristoteles** adalah seorang filosof yang berasal dari Yunani, yang mencetuskan teori



Gambar 7.2 Aristoteles

Sumber: Microsoft Encarta Multimedia, 2006

evolusi. Ia mengatakan bahwa evolusi yang terjadi berdasarkan metafisika alam, maksudnya metafisika alam dapat mengubah organisme dan habitatnya dari bentuk sederhana ke bentuk yang lebih kompleks.

## 2. Anaximander (500 SM)

**Anaximander** juga merupakan seorang filosof yang berasal dari Yunani. Ia berpendapat bahwa manusia berawal dari makhluk akuatik mirip ikan dan mengalami proses evolusi.

## 3. Empedoclas (495 – 435 SM)

**Empedoclas** adalah seorang filosof Yunani. Ia mengemukakan teori bahwa kehidupan berasal dari lumpur hitam yang mendapat sinar dari matahari dan berubah menjadi makhluk hidup. Evolusi terjadi dengan dimulainya makhluk hidup yang sederhana kemudian berkembang menjadi sempurna dan akhirnya menjadi beraneka ragam seperti sekarang ini.

## 4. Erasmus Darwin (1731 1802)

**Erasmus Darwin** adalah kakek dari **Charles Robert Darwin**, seorang tokoh evolusi berkebangsaan Inggris. Teorinya adalah bahwa evolusi terjadi karena bagian fungsional terhadap stimulasi adalah diwariskan. Ia menyusun buku yang berjudul **Zoonamia** yang menentang teori evolusi dari Lamarck.

## 5. Count De Buffon (1707 – 1788)

**Buffon** berpendapat bahwa variasi-variasi yang terjadi karena pengaruh alam sekitar diwariskan sehingga terjadi penimbunan variasi.

## 6. Sir Charles Lyell (1797 – 1875)

**Lyell** adalah seorang ilmuwan yang berasal dari Skotlandia dengan bukunya yang terkenal berjudul **Principles of Geology**. Di dalam bukunya tersebut **Lyell** berpendapat bahwa permukaan bumi terbentuk melalui proses bertahap dalam jangka waktu yang lama.

## 7. Lamarck

**Jean Baptise de Lamarck** (1744 – 1829) seorang ahli biologi kebangsaan Perancis, memiliki suatu gagasan dan menuliskannya dalam bukunya berjudul "**Philosophic**". Dalam bukunya tersebut **Lamarck** mengatakan sebagai berikut.

- Lingkungan mempunyai pengaruh pada ciri-ciri dan sifat-sifat yang diwariskan melalui proses adaptasi lingkungan.
- Ciri dan sifat yang terbentuk akan diwariskan kepada keturunannya.
- Organ yang sering digunakan akan berkembang dan tumbuh membesar, sedangkan organ yang tidak digunakan akan mengalami pemendekan atau penyusutan, bahkan akan menghilang.

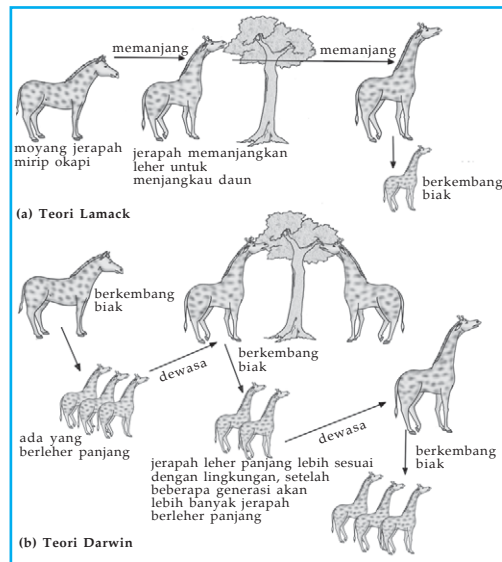
Contoh yang dapat digunakan oleh Lamarck adalah jerapah. Menurut **Lamarck**, pada awalnya jerapah memiliki leher pendek. Karena makanannya berupa daun-daun yang tinggi, maka jerapah berusaha untuk dapat menjangkaunya. Karena terbiasa dengan hal ini maka semakin lama, leher jerapah menjadi semakin panjang dan pada generasi berikutnya akan lebih panjang lagi.

Teori **Lamarck** ditentang oleh **Erasmus Darwin** (kakek dari **Charles Darwin**) yang mengatakan bahwa populasi jerapah adalah heterogen, ada yang berleher pendek dan ada yang berleher panjang. Jerapah-jerapah tersebut berkompetisi untuk mendapatkan makanan. Dari persaingan tersebut jerapah berleher panjang akan menang dan akan tetap hidup, sifat ini akan diwariskan kepada keturunannya. Jerapah yang berleher pendek akan mati dan perlahan-lahan mengalami kepunahan. Agar lebih jelas mengenai perbandingan dua teori ini, dapat Anda perhatikan Gambar 7.3.

Pada bab sebelumnya Anda telah mempelajari materi tentang mutasi dan peran gen dalam pewarisan sifat. Jika dikaitkan dengan hal tersebut, menurut Anda teori manakah yang paling benar? Diskusikan hal ini dengan teman-teman Anda! Jika perlu mintalah bimbingan dari guru pengampu.

## 8. Charles Robert Darwin

**Charles Robert Darwin** (1809–1882) adalah seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris yang melakukan pelayaran pada tahun 1831. Dengan menggunakan kapal HMS Beagle, ia melakukan pelayaran menuju ke Kepulauan Galapagos, yang merupakan kepulauan terpencil kurang lebih 1050

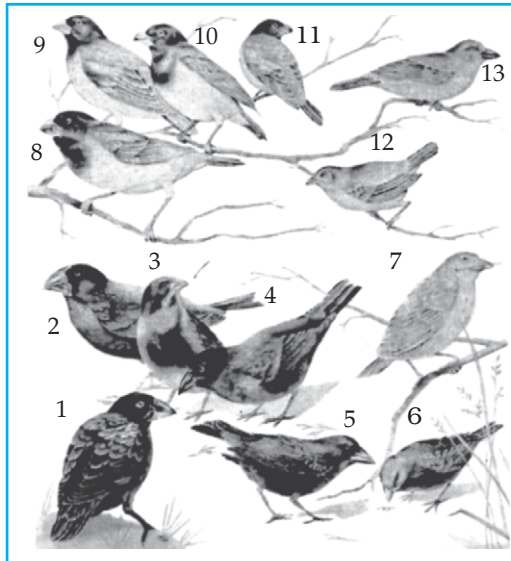


Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 7.3  
Teori jerapah berleher panjang menurut Lamarck dan Erasmus Darwin



km dari daratan utama Amerika Serikat. Dalam pelayarannya hingga sampai di Kepulauan Galapagos tersebut Charles Darwin menemukan dan mengamati berbagai macam burung Finch yang memiliki berbagai macam bentuk paruh. Perbedaan morfologi tersebut ternyata menunjukkan adanya hubungan kekerabatan dengan burung yang ada di Amerika Serikat. Hasil penemuan burung Finch oleh Darwin dapat Anda lihat pada Gambar 7.4.



Keterangan gambar :

1. Burung finch kaktus tanah besar
2. Burung finch tanah besar
3. Burung finch tanah sedang
4. Burung finch tanah berkaktus
5. Burung finch tanah berparuh tajam
6. Burung finch tanah kecil
7. Burung finch plato
8. Burung finch pohon pemakan tumbuhan
9. Burung finch pohon insektivora besar
10. Burung finch pohon insektivora kecil
11. Burung finch pohon pemakan serangga kecil
12. Burung finch penyangi
13. Burung finch bakau

Sumber : Kimball Jilid 3, 1999

Gambar 7.4  
Macam Perbedaan morfologi bentuk paruh  
dari burung Finch di Kepulauan Galapagos

Coba Anda perhatikan Gambar 7.4! Perhatikan bentuk paruh dari masing-masing burung tersebut! Burung Finch nomor 1–7 adalah burung Finch tanah, yang mencari makanan di tanah atau di semak yang rendah. Burung Finch nomor 8–13 adalah burung Finch pohon, makanannya berupa insekta.

Pada abad ke-18 seorang ahli ekonomi **Thomas Robert Malthus** seorang berkebangsaan Inggris (1766 – 1834) mengemukakan pendapatnya dalam bukunya yang berjudul **An Essay on the Principle of Population**. Malthus menyimpulkan bahwa jumlah penduduk naik seperti deret ukur (1, 2, 4, 8, 16, ...) sedangkan bahan makanan yang tersedia naik seperti deret hitung (1, 2, 3, 4, 5, ...). Dari teori tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah kenaikan penduduk lebih cepat daripada kenaikan produksi pangan. Fenomena ini mengakibatkan makhluk hidup harus melakukan perjuangan agar terus bertahan. Sifat-sifat yang mendukung akan dipertahankan, sedangkan sifat-sifat yang tidak mendukung akan hilang. Makhluk hidup yang mampu bertahan hidup dan mampu beradaptasi dengan lingkungannya akan lolos dari *seleksi alam*.

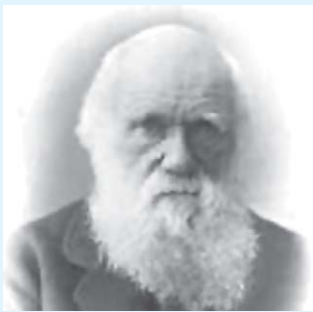
**Alfred Russel Wallace** (1823-1913) mengadakan pengamatan tentang adanya penyebaran flora dan fauna di wilayah oriental yaitu Sumatera, Jawa, dan Kalimantan yang ternyata mempunyai banyak persamaan dengan wilayah Australia dan Maluku serta Sulawesi sebagai daerah transisi.

Dengan gagasan dan teori kedua tokoh yaitu, Malthus dan Wallace, maka Darwin menggunakan teori evolusinya lebih lanjut. Ide-ide Darwin berdasarkan hasil observasinya antara lain seperti berikut.

- Tidak ada individu yang sama. Antara individu satu dengan yang lainnya mempunyai perbedaan atau variasi walaupun dalam satu spesies dan variasi tersebut bersifat menurun.
- Setiap populasi cenderung bertambah banyak karena mempunyai kemampuan untuk bereproduksi.
- Bertambahnya populasi tidak akan berjalan terus-menerus, tetapi kenaikan populasi akan dipengaruhi oleh faktor-faktor pembatas.
- Jumlah individu yang dilahirkan lebih banyak daripada individu yang dapat bertahan hidup.
- Individu-individu akan mengadakan persaingan untuk mendapatkan makanan agar dapat mempertahankan hidupnya.
- Adanya seleksi alam akan mengakibatkan individu harus beradaptasi dengan lingkungannya. Individu yang dapat beradaptasi akan dapat terus hidup dan akan mewariskan sifat-sifatnya pada keturunannya.

### ✓ Perlu Diketahui

Sumber: Microsoft Encarta Multimedia, 2006



Charles Robert Darwin dilahirkan pada tanggal 12 Februari 1809 di Shrewsbury, Inggris. Kakeknya adalah dokter dan filsuf terkenal Erasmus Darwin, sedangkan neneknya adalah pembuat barang-barang tembikar terkenal Josiah Wedgwood.

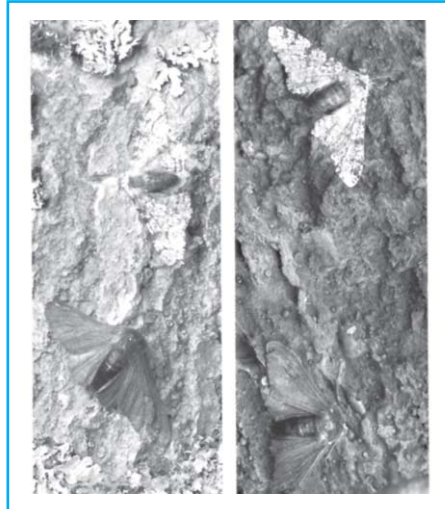
Dalam perkembangannya, individu tersebut akan mengalami perubahan-perubahan secara berangsur-angsur dari generasi ke generasi yang mengarah pada terbentuknya spesies baru, sedangkan yang tidak mampu beradaptasi akan mati dan punah.

Ide Darwin tersebut dituangkan dalam bukunya yang berjudul **On The Origin Species By Means Of Natural Selection**, yang berarti terjadinya spesies baru melalui proses seleksi alam, dan **The Preservation Of Favored Races In The Struggle For Live** yang berarti, setiap individu harus berusaha mendapatkan kebutuhan untuk kelangsungan hidup.

Dari berbagai teori Darwin yang dijelaskan di atas, maka dapat ditarik kesimpulan seperti berikut.

- Spesies yang ada sekarang berasal dari spesies yang hidup di masa lampau.
- Evolusi yang terjadi melalui proses seleksi alam.
- Proses evolusi dipengaruhi oleh lingkungan.

Bukti evolusi tersebut dapat ditemukan pada kupu-kupu *Biston betularia*. Spesies kupu-kupu ini hidup pada waktu sebelum revolusi industri di Inggris, hewan ini kebanyakan berwarna putih atau cerah, tetapi setelah terjadi revolusi industri, kupu-kupu yang banyak ditemukan adalah berwarna hitam atau gelap. Coba Anda pikirkan mengapa demikian! Coba Anda kaitkan dengan teori-teori yang sudah dijelaskan sebelumnya. Sebagai perbandingan warna kupu-kupu tersebut dapat Anda lihat pada Gambar 7.5.



Gambar 7.5  
Kupu *Biston betularia* warna putih dan hitam

Sumber: Jendela Iptek, Evolusi, 2002

Setelah terjadi revolusi industri, maka tembok dan tempat-tempat lain sebagai habitat kupu-kupu berubah menjadi gelap akibat banyaknya asap dari pabrik industri sehingga kupu-kupu yang putih dan cerah akan mudah dimangsa oleh predatornya daripada kupu-kupu yang hitam dan gelap. Akibatnya kupu-kupu hitam dan gelap yang mampu bertahan hidup, sedangkan kupu-kupu putih dan cerah akhirnya punah.

## 9. August Weismann (1934-1914)

**Weismann** berpendapat bahwa sel-sel tubuh tidak dipengaruhi oleh lingkungan dalam penurunannya, melainkan berdasarkan pada prinsip genetika. Weismann melakukan percobaan untuk membuktikan teorinya tersebut. Perlakuan diberikan kepada dua tikus yang dipotong ekornya dan kemudian kedua tikus tersebut dikawinkan. Hasilnya adalah generasi keturunannya masih berekor panjang sampai generasi ke-21. Dari percobaan yang dilakukan tersebut maka akhirnya Weismann menarik kesimpulan seperti berikut.

- Perubahan sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak diwariskan kepada generasi berikutnya.
- Evolusi merupakan masalah genetika, artinya evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor genetika.

## **B** MACAM-MACAM EVOLUSI

Berbagai macam teori evolusi yang dicetuskan oleh para tokoh tersebut, akan menjadi dasar pemikiran tentang evolusi selanjutnya. Proses evolusi dapat dibedakan atas dasar faktor-faktor berikut.

### **1. Evolusi Berdasarkan Arahnya**

Berdasarkan arahnya evolusi dibedakan menjadi dua.

#### **a. Evolusi Progresif**

Evolusi progresif merupakan evolusi menuju pada kemungkinan yang dapat bertahan hidup (*survival*). Proses ini dapat dijumpai melalui peristiwa evolusi yang terjadi pada burung Finch. Coba Anda ingat kembali materi yang sudah disampaikan di depan. Bagaimana burung Finch beradaptasi untuk mempertahankan hidupnya?

#### **b. Evolusi Regresif**

Evolusi regresif merupakan proses menuju pada kemungkinan kepunahan. Hal ini dapat dijumpai melalui peristiwa evolusi yang terjadi pada hewan dinosaurus.

### **2. Evolusi Berdasarkan pada Skala Perubahannya**

Berdasarkan skala perubahannya, evolusi dapat dibedakan menjadi dua.

#### **a. Makroevolusi**

Makroevolusi adalah perubahan evolusi yang dapat mengakibatkan perubahan dalam skala besar. Adanya makroevolusi dapat mengarah kepada terbentuknya spesies baru.

#### **b. Mikroevolusi**

Berkebalikan dengan makroevolusi, mikroevolusi adalah proses evolusi yang hanya mengakibatkan perubahan dalam skala kecil. Mikroevolusi ini hanya mengarah kepada terjadinya perubahan pada frekuensi gen atau kromosom.

### **3. Evolusi Berdasarkan Hasil Akhir**

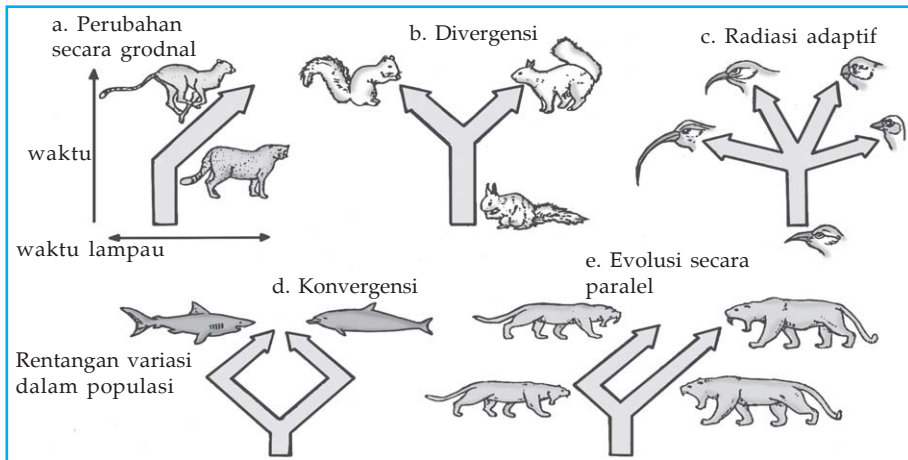
Berdasarkan hasil akhir, evolusi dapat dibedakan menjadi dua.

#### **a. Evolusi Divergen**

Evolusi divergen merupakan proses evolusi yang perubahannya berasal dari satu spesies menjadi banyak spesies baru. Evolusi divergen ditemukan pada peristiwa terdapatnya lima jari pada vertebrata yang berasal dari nenek moyang yang sama dan sekarang dimiliki oleh bangsa primata dan manusia.

## b. Evolusi Konvergen

Evolusi konvergen adalah proses evolusi yang perubahannya didasarkan pada adanya kesamaan struktur antara dua organ atau organisme pada garis sama dari nenek moyang yang sama. Hal ini dapat ditemukan pada hiu dan lumba-lumba. Ikan hiu dan lumba-lumba terlihat sama seperti organisme yang berkerabat dekat, tetapi ternyata hiu termasuk dalam pisces, sedangkan ikan lumba-lumba termasuk dalam mamalia. Agar lebih jelas tentang evolusi konvergen, perhatikan Gambar 7.6 di bawah ini!



Sumber: Kimball Jilid 3, 1999

Gambar 7.6  
Evolusi konvergen dan divergen

## C MEKANISME EVOLUSI

Proses evolusi dapat terjadi karena variasi genetik dan seleksi alam. Adanya variasi genetik akan memunculkan sifat-sifat baru yang akan diturunkan. Variasi genetik ini disebabkan karena adanya mutasi gen.

Seleksi alam juga merupakan mekanisme evolusi. Individu-individu akan beradaptasi dan berjuang untuk mempertahankan hidupnya, sehingga individu akan mengalami perubahan morfologi, fisiologi, dan tingkah laku.

Faktor-faktor yang berpengaruh di dalam mekanisme evolusi antara lain seperti berikut.

### 1. Mutasi

Peristiwa mutasi akan mengakibatkan terjadinya perubahan frekuensi gen, sehingga akan mempengaruhi fenotipe dan genotipe. Mutasi dapat bersifat menguntungkan dan merugikan. Sifat menguntungkan maupun merugikan tersebut terjadi jika:

- dapat menghasilkan sifat baru yang lebih menguntungkan,
- dapat menghasilkan spesies yang adaptif,
- memiliki peningkatan daya fertilitas dan viabilitas.

Selain menguntungkan, ada kemungkinan mutasi bersifat merugikan yaitu menghasilkan sifat-sifat yang berkebalikan dengan sifat-sifat di atas.

Untuk mengetahui angka laju mutasi, dapat dicontohkan dengan perhitungan seperti berikut:

Jumlah populasi spesies 300.000. Jumlah generasi spesies itu sebesar 6000, sedangkan angka laju mutasi per gen 1 : 100 000. Jumlah gen yang mampu bermutasi dalam individu 1000. Perbandingan mutasi yang menguntungkan dan merugikan 1 : 1000.

Berapakah mutasi gen yang menguntungkan selama spesies itu ada?

**Jawab:**

- Perhitungan jumlah gen yang bermutasi.

$$= \frac{1}{100.000} \times 100$$

$$= \frac{1}{1000} \text{ gen}$$

Sehingga jumlah mutasi gen yang menguntungkan:

$$= \frac{1}{100} \times \frac{1}{1000} = \frac{1}{100.000}$$

- Jadi pada setiap generasi mutasi yang bersifat menguntungkan:

$$= \frac{1}{100.000} \times 300.000 = 3 \text{ gen}$$

- Sehingga mutasi gen yang menguntungkan selama spesies itu ada adalah:  $6000 \times 3000 = 18.000.000$

## 2. Seleksi Alam dan Adaptasi

Proses adaptasi akan diikuti dengan proses seleksi. Individu yang memiliki adaptasi yang baik akan dapat mempertahankan hidupnya, memiliki resistensi yang tinggi dan dapat melanjutkan keturunannya. Sedangkan individu yang tidak dapat beradaptasi akan mati selanjutnya akan punah. Untuk memahami adaptasi dan seleksi alam, Anda dapat melakukan kegiatan sebagai berikut.

## KEGIATAN KELOMPOK 1

### Tujuan :

1. Membuktikan bahwa evolusi dapat terjadi akibat proses seleksi alam dan adaptasi
2. Mengetahui dan memahami hubungan antara seleksi dan proses adaptasi.

### Alat dan Bahan:

1. Potongan kertas berbentuk lingkaran atau kotak ukuran 2x2 cm.
  - a. warna hijau : 100 buah
  - b. warna kuning : 100 buah
  - c. warna hitam : 100 buah
  - d. warna putih : 100 buah
2. Kotak kertas atau kantong plastik
3. Tali rafia 5 meter
4. Arloji, stopwatch
5. Lapangan rumput atau halaman sekolah.

### Cara kerja:

1. Buatlah batas ploting pada lapangan berumput dengan ukuran 1 m<sup>2</sup> dengan pembatas tali rafia.
2. Campurkan dengan rata keempat kertas warna, kemudian taburkan secara rata pada petak plating.
3. Kemudian ambillah kertas tadi dengan waktu 1 menit, sebelumnya tentukan siapa pengambil, siapa pencatat waktu, penghitung dan tabulasi data.
4. Ulangi langkah nomor 3 sampai 5 kali ulangan lalu masukkan data pengambilan pada tabel berikut ini yang Anda salin di buku tugas.

Urutan	Jumlah kertas warna											
	Hijau			Kuning			Hitam			Putih		
	Awal	Hasil	Sisa	Awal	Hasil	Sisa	Awal	Hasil	Sisa	Awal	Hasil	Sisa
1.												
2.												
3.												
4.												
5.												
Total												

5. Buatlah grafik poligon atau diagram dari hasil pengamatan tersebut.
6. Presentasikan hasil percobaan di depan kelas dengan metode diskusi kelompok.

#### **Bahan diskusi**

1. Kertas warna apakah yang paling banyak terambil? Beri penjelasan mengapa demikian?
2. Kertas warna apakah yang paling sedikit terambil? Beri penjelasan yang tepat!
3. Kertas warna apakah yang paling banyak tersisa? Beri penjelasan yang tepat!
4. Kertas warna apakah yang paling sedikit tersisa? Beri penjelasan mengapa demikian?
5. Bagaimana perbandingan jumlah kertas yang terambil maupun yang tersisa untuk setiap urutan makin banyak atau sedikit? Mengapa terjadi demikian?
6. Dalam percobaan ini kertas menggambarkan apa? Pengambilan kertas menggambarkan apa?
7. Apakah percobaan ini dapat mempermudah pemahaman Anda tentang proses seleksi dan adaptasi? Beri alasan!
8. Bagaimana pendapat Anda jika percobaan ini dihubungkan dengan kejadian proses seleksi alam yang terjadi pada resistensi hama oleh insektisida?

### **3. Aliran Gen**

Dengan adanya aliran gen maka akan terjadi perpindahan alel di antara populasi-populasi melalui migrasi dan individu yang kawin.

### **4. Perkawinan yang Tidak Acak**

Perkawinan tak acak dapat mengakibatkan alel yang membawa sifat lebih disukai akan menjadi lebih sering dijumpai dalam populasi, sedangkan alel dengan sifat yang tidak disukai akan berkurang dan mungkin akan hilang dari populasi. Perkawinan yang terjadi antar keluarga dekat dapat mengakibatkan frekuensi gen abnormal atau gen resesif.



## 5. Genetik Drift

Genetik Drift merupakan perubahan secara acak pada frekuensi gen dari populasi kecil yang terisolasi. Keadaan ini dapat Anda jumpai pada populasi terisolir kaum Amish di Amerika, ternyata ada yang membawa alel yang menyebabkan sifat cebol satu dari setiap seribu kelahiran.

Hasil perkawinan secara acak tidak akan mengubah populasi tertentu. Penghitungan populasi secara acak tersebut dapat ditentukan dengan hukum Hardy Weinberg. Hukum **Hardy Weinberg** menyatakan bahwa frekuensi gen dalam populasi dapat tetap distabilkan dan tetap berada dalam keseimbangan dari satu generasi. Syarat terjadinya prinsip ini adalah:

- perkawinan secara acak,
- tidak ada seleksi alam,
- jumlah populasi besar,
- tidak terjadinya mutasi maju atau surut,
- tidak ada migrasi.

Secara umum, hukum Hardy Weinberg dapat dirumuskan sebagai berikut.

- Bila frekuensi alel A di dalam populasi diumpamakan p
- Frekuensi alel a diumpamakan q
- Hasil perkawinan heterozigote antara Aa × Aa akan diperoleh hasil sebagai berikut:
  - Homozigot dominan AA =  $p \times p = p^2$
  - Heterozigot 2 Aa =  $2p \times q = 2pq$
  - Homozigot resesif aa =  $q \times q = q^2$Sehingga persamaan rumusnya adalah:

$$p^2 (AA) + 2 pq (Aa) + q^2 (aa) \\ \text{karena } (p + q)^2 = 1, \text{ maka } p + q = 1, \text{ sehingga } p = 1 - q$$

### Contoh soal:

- Pada suatu populasi yang berpenduduk 10.000 orang terdapat 25 orang yang menderita albino. Berapa persentase orang yang normal dan orang carier albino?

Jawab:

Sifat albino dikendalikan oleh gen homozigot resesif yaitu aa

$$aa = q^2$$

$$q^2 = \frac{25}{10.000}$$

$$q^2 = 0,0025$$

$$q = \sqrt{0,0025}$$

$$q = 0,05$$

Jika  $p + q = 1$  maka  $p = 1 - q$

$$p = 1 - 0,05$$

$$p = 0,95$$

- a. Orang yang normal bergenotipe AA =  $p^2$   
 $= (0,95)^2$   
 $= 0,9025$

Sehingga persentase orang normal adalah:

$$= 0,9025 \times 100\% = 90,25\%$$

- b. Orang yang carier bergenotipe Aa =  $2pq$   
 $= 2 (0,95 \times 0,05) = 0,095$

Jadi persentase orang carier adalah:

$$= 0,095 \times 100\% = 9,5\%$$

2. Pada suatu populasi terdapat 9 orang penderita kidal dari 10.000 orang. Berapakah jumlah orang yang normal carier?

**Jawab :**  $kk = q^2 = \frac{9}{10.000}$

$$q^2 = 0,0009$$

$$q = \sqrt{0,0009}$$

$$q = 0,03$$

$$p + q = 1 \text{ maka } p = 1 - q$$

$$p = 1 - 0,03$$

$$p = 0,97$$

- a. Orang yang normal bergenotipe kk =  $p^2$   
 $= (0,97)^2$   
 $= 0,9409$

Sehingga orang yang normal berjumlah

$$= 0,9409 \times 10.000$$

$$= 9409 \text{ orang}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Orang yang bergenotip } kk &= 2pq \\ &= 2 \times 0,97 \times 0,03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga jumlah orang yang carier adalah} \\ &= 0,0582 \times 10.000 \\ &= 582 \text{ orang} \end{aligned}$$

3. Pada suatu populasi terdapat kelompok orang merasakan PTC (*Phenyl Thio Carbonide*) sebesar 64%, sedangkan yang bukan perasa PTC adalah 36%.

- Berapakah frekuensi gen perasa PTC dan bukan perasa PTC?
- Bagaimana perbandingan frekuensi genotipnya?

**Jawab:**

Sifat perasa PTC dikendalikan oleh gen T dan bukan perasa dikendalikan oleh gen t.

- Orang perasa PTC (genotipe TT dan Tt) adalah 64% dan orang yang bukan perasa PTC adalah:

$$tt = q^2 = 36\%$$

$$q^2 = \sqrt{0,36}$$

karena  $p + q = 1$ , maka  $p = 1 - q$

$$\begin{aligned} p &= 1 - 0,6 \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

- Perbandingan frekuensi genotipnya

$$TT : 2Tt : tt$$

$$p^2 : 2pq : q^2$$

$$(0,4)^2 : 2 \times 0,4 \times 0,6 : (0,6)^2$$

$$0,16 : 0,48 : 0,36$$

Jadi, perbandingan frekuensi genotipnya adalah 16 : 48 : 36

4. Dari 100 siswa SMA Harapan telah diperiksa golongan darahnya dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Siswa bergolongan darah	A	= 280 orang
	B	= 170 orang
	AB	= 190 orang
	O	= 360 orang

Tentukanlah frekuensi alel  $I^A$ ,  $I^B$  dan  $I^O$  pada siswa tersebut!

**Jawab:**

$$\text{Frekuensi golongan darah O} = r^2 = \frac{360}{1.000} = 0,36$$

$$r = \sqrt{0,36} = 0,6$$

$$\frac{280 + 360}{1.000} = 0,64$$

$$p + r = \sqrt{0,64}$$

$$= 0,8$$

$$\begin{aligned}\text{Karena } p + q + r &= 1, \text{ maka } q = 1 - (p + r) \\ &= 1 - (0,2 + 0,6) \\ &= 1 - 0,8 \\ &= 0,2\end{aligned}$$

$$\text{Jadi, frekuensi alel } I^A = p = 0,2$$

$$I^B = q = 0,2$$

$$I^O = r = 0,6$$

5. Di Pulau Jawa ditemukan persentase laki-laki buta warna sebesar 4%. Tentukan persentase wanita buta warna dan wanita carier!

**Jawab:**

- a. Genotipe laki-laki buta warna  $X^{cb}Y$

Frekuensi alel CB untuk normal p dan frekuensi alel cb untuk buta warna adalah q.

Maka laki-laki buta warna =  $X^{cb}Y$  atau  $cb = q$

$$q = 4\%$$

$$q = 0,04$$

$$\text{jika } p + q = 1, \text{ maka } p = 1 - q$$

$$p = 1 - 0,04$$

$$p = 0,96$$

- b. Wanita buta warna  $X^{cb}X^{cb}$  atau  $cbcb$

$$cbcb = q^2 = (0,04)^2 = 0,0016$$

Jadi persentase wanita buta warna adalah

$$= 0,0016 \times 100\%$$

$$= 0,16\%$$

- c. Wanita carier  $X^{CB}X^{cb}$  dan  $CBcb$

$$CBcb = 2pq = 1 \times 0,9 \times 0,04$$

$$= 0,036$$

Jadi, persentase wanita carier adalah

$$= 0,036 \times 100\%$$

$$= 3,6\%$$

6. Dalam pemeriksaan darah dan gen sistem ABO pada penduduk kota baru diketahui penduduk bergolongan A = 11% dan penduduk dengan golongan darah O = 25%. Berapa persen penduduk yang mempunyai golongan darah B dan AB?

**Jawab:**

Untuk golongan darah O = r = 25%

$$r^2 = 0,25$$

$$r = \sqrt{0,25}$$

$$r = 0,5$$

$$A + O = p^2 + 2pr + r^2$$

$$A + O = (p + r)^2$$

$$\sqrt{A + O} = (p + r)$$

$$B + O = q^2 + 2qr + r^2$$

$$B + O = (q + r)^2$$

$$\sqrt{B + O} = (q + r)$$

Jika  $p + q + r = 1$ , maka

$$p = 1 - (q + r)$$

$$p = 1 - \sqrt{B + O}$$

$$q = 1 - (p + r)$$

$$q = 1 - \sqrt{A + O}$$

$$\text{Frekuensi } q = 1 - \sqrt{A + O}$$

$$= 1 - \sqrt{0,11 + 0,25}$$

$$= 1 - \sqrt{0,36}$$

$$= 1 - 0,6$$

$$= 0,4$$

$$\text{Frekuensi } p = 1 - (q + r)$$

$$= 1 - (0,4 + 0,5)$$

$$= 1 - (0,9)$$

$$= 0,1$$

- a. Jadi golongan darah B =  $q^2 + 2qr$   
 $= (0,4)^2 + 2(0,4 \times 0,5)$   
 $= 0,16 + 0,5$   
 $= 0,56$ ; maka persentasenya 56%
- b. Golongan darah AB =  $2pq$   
 $= 2(0,1 \times 0,4)$   
 $= 0,08$ ; maka persentasenya 8%

## D SPESIASI

Makhluk hidup selalu mengalami perubahan secara perlahan-lahan dalam jangka waktu yang lama. Perubahan yang terjadi sedikit demi sedikit dapat menghasilkan struktur yang menyimpang dari aslinya, dan akhirnya terbentuk spesies baru. Proses terbentuknya spesies baru disebut *spesiasi*.

Hal-hal yang mempengaruhi terbentuknya spesies baru antara lain sebagai berikut.

### 1. Domestikasi

Domestikasi merupakan bagian dari usaha pemuliaan tanaman dan hewan. Usaha yang dilakukan yaitu dengan cara membudidayakan tumbuhan dan hewan yang liar untuk dijinakkan. Misalnya budidaya ayam hutan dengan cara dikawinkan dengan ayam kampung akan menghasilkan ayam bekisar. Ayam bekisar merupakan pembentukan spesies baru yang sifatnya mandul.

Pada proses domestikasi, tumbuhan dan hewan dapat memiliki sifat yang menyimpang dari jenis aslinya sehingga akan terbentuk spesies yang baru.

## TUGAS INDIVIDU

Carilah peristiwa tentang proses domestikasi yang lain, kemudian jelaskan spesies yang terbentuk dari proses tersebut!

### 2. Poliploidi

Coba Anda ingat pengertian poliploid pada bab 6 tentang mutasi! Poliploid merupakan peristiwa penggandaan jumlah kromosom yang melebihi aslinya, misalnya dari  $2n$  menjadi  $3n$ . Poliploid dapat terjadi melalui dua cara antara lain seperti berikut.

### a. Autopoliploidi

Peristiwa ini terjadi pada kromosom homolog atau terjadi dengan sendirinya, mungkin disebabkan karena faktor alam. Faktor-faktor yang menyebabkan autopoliploid antara lain radiasi alam, sinar ultraviolet matahari, dan lain-lain. Adanya faktor-faktor alami tersebut dapat menyebabkan kromosom gagal berpisah. Misalnya bunga *Oenothera lamarckiana* yang memiliki kromosom 24 kemudian mengalami poliploid menjadi spesies yang baru yaitu *Oenothera gigas* yang memiliki kromosom berjumlah 28. Spesies baru yang dihasilkan bersifat mandul.

### b. Allopoliploid

Peristiwa ini terjadi pada kromosom nonhomolog yang merupakan peristiwa penggandaan jumlah kromosom akibat peristiwa persilangan. Misalnya semangka dengan kromosom  $2n$  disilangkan dengan semangka yang berkromosom  $4n$ , akan dihasilkan spesies baru yang memiliki kromosom  $3n$  yang bersifat mandul (tidak menghasilkan biji).

## 3. Mekanisme Isolasi

Mekanisme isolasi merupakan proses pembentukan individu baru dengan batasan-batas tertentu. Faktor-faktor yang menjadi pembatas adalah habitat yang berbeda, iklim yang berbeda, gunung yang tinggi, pematangan sel kelamin yang tidak bersama.

Mekanisme isolasi dibedakan menjadi tiga.

### a. Mekanisme yang Mencegah Terbentuknya Hibrida

Penyebab tidak terbentuknya hibrida antara lain tidak dimungkinkannya adanya pembuahan karena sel sperma tidak dapat mencapai sel telur. Dalam hal ini harus dilakukan pembuahan dengan inseminasi buatan. Peristiwa ini dapat Anda temui pada tanaman tembakau.

Kegagalan terbentuknya hibrid juga disebabkan karena embrio yang tidak dapat tumbuh, misalnya pada *Rana pipiens*.

### b. Mekanisme yang Mencegah Terjadinya Perkawinan

Faktor-faktor yang menyebabkan gagal mengadakan perkawinan antara lain seperti berikut.

- 1) Populasi terpisah secara fisik, misalnya dipisahkan gunung, laut, padang pasir, dan lain-lain. Individu yang spesiesnya sama apabila terpisah habitatnya dan memiliki lingkungan yang berbeda maka akan menghalangi terjadinya perkawinan secara alamiah.

- 2) Mengalami iklim yang berbeda. Apabila pematangan sel kelamin dari dua individu tidak bersamaan maka hal ini menyebabkan gagal kawin secara alami. Misalnya pada tumbuhan *Pinus radiata* yang berbunga setiap bulan Februari dan *Pinus muricata* yang berbunga pada bulan April.
- 3) Perbedaan perilaku pada spesies mengakibatkan dua spesies terpisah sehingga tidak dapat saling melakukan perkawinan.

## **E SEJARAH EVOLUSI MANUSIA**

Perhatikan kembali Gambar 7.1. di depan. Gambar 7.1 menjelaskan bahwa sebenarnya manusia bukan berasal dari kera, melainkan antara kera dan manusia memiliki cikal bakal yang sama. Jika Anda melihat fenomena tersebut, maka Anda dapat membayangkan proses evolusi berjalan secara bertahap dalam waktu yang sangat lama. Sejarah manusia dimulai dari primata cikal bakal kemudian dalam perkembangannya akan mengalami perubahan dari generasi ke generasi sampai perkembangan yang lebih baik seperti manusia zaman sekarang. Sejarah manusia yang berasal dari primata cikal bakal adalah sebagai berikut.

### **1. Primata**

Pada tahun 1871, **Charles Darwin** menerbitkan bukunya yang berjudul **The Descent Of Man** yang berisi tentang asal usul manusia. Pendapat Darwin tersebut didasarkan atas adanya hubungan kekerabatan antara manusia dengan primata. Hubungan kekerabatan tersebut juga dapat dilihat antara manusia (*Hominidae*) dan orang utan (*Pongidae*). Di antara bentuk persamaan tersebut dapat Anda lihat struktur tubuhnya, antara lain:

- a. mata menghadap ke depan;
- b. memiliki kelenjar susu yang terletak di dada;
- c. memiliki struktur, jumlah, dan macam kerangka yang sama;
- d. organ darah mempunyai susunan kimia yang sama;
- e. bentuk rahim dengan tipe simpleks.

Selain persamaan di atas, juga terdapat perbedaan antara keduanya. Perbedaan tersebut dapat Anda lihat pada Tabel 7.1 di bawah ini.



**Tabel 7.1 Perbedaan Antara Manusia (*Hominidae*) dan Orang Utan (*Pongidae*)**

No	Struktur Tubuh	Manusia ( <i>Hominidae</i> )	Orang Utan ( <i>Pongidae</i> )
1	Kedudukan tengkorak	Tepat di ujung tulang belakang	Sebelah depan ujung tulang belakang
2	Rahang	Berbentuk seperti huruf V	Berbentuk seperti huruf U
3	Gigi	Ukuran dan tinggi sama	Ukuran dan tinggi tidak sama
4	Tulang belakang	Tegak dan kuat	Bengkok
5	Tangan	Lebih pendek dari kaki	Lebih panjang dari kaki
6	Kaki	Untuk berjalan	Untuk berjalan dan memegang
7	Ibu jari kaki	Tidak dapat bergerak bebas	Dapat bergerak bebas
8	Pelvis	Lebar dan kuat	Sempit dan memanjang

Agar lebih jelas tentang struktur tubuh di atas, Anda dapat membandingkannya secara langsung. Pergilah ke kebun binatang, kemudian amati struktur tubuh dari orang utan. Hasilnya dapat Anda catat di buku tugas dan kemudian dapat dibuat suatu kesimpulan.

## 2. Manusia Purba

Fosil manusia purba ditemukan di berbagai tempat. Penemuan tersebut dapat menunjukkan suatu perbandingan dan mengetahui perkembangan evolusi yang terjadi.

Di antara penemuan yang ada adalah sebagai berikut.

### a. Manusia Kera Afrika Selatan

Beberapa fosil manusia kera dari Afrika Selatan ditemukan oleh **Raymond Dart** (1829 – 1924). Beberapa penemuan tersebut antara lain *Australopithecus africanus*, *Paranthropus robustus*, *Plesianthropus transvaalensis*. Menurut **Raymond Dart**, manusia kera Afrika Selatan memiliki karakteristik antara lain:

- 1) dapat berdiri tegak dan berjalan dengan dua kaki;
- 2) memiliki tinggi badan kurang lebih 1,5 meter;
- 3) memiliki volume otak hanya sekitar 450 – 600 cm<sup>3</sup>;
- 4) habitat hidup di tempat terbuka.

## b. Manusia Kera Afrika Timur

Fosil ini ditemukan oleh **Leakey** dan diberi nama *Australopithecus boisei* yang memiliki ciri-ciri antara lain berbadan lebih kekar, gigi, dan tulang rahang lebih kuat. Penemuan lain adalah jenis *Australopithecus habilis* yang memiliki ciri-ciri antara lain:

- 1) memiliki volume otak yang lebih besar dibandingkan manusia kera Afrika yang lain yaitu  $\pm 650 \text{ cm}^3$ , sehingga intelegensinya lebih tinggi;
- 2) sudah menggunakan alat bantu untuk memotong dari batu.

## c. Manusia Jawa

Fosil manusia Jawa ditemukan oleh **Eugene Dubois**, yang merupakan ahli anatomi dan geologi dari Belanda. **E. Dubois** menemukan fosil tersebut di daerah Trinil, Jawa Timur pada tahun 1894. Pada tempat yang berbeda ditemukan pula manusia Jawa jenis lain. Penemuan ini dilakukan oleh **C.R. Von Koenigswald** di daerah Mojokerto dan Sangiran. Hasil penemuan Koenigswald tersebut diberi nama *Pithecanthropus erectus*.

Manusia Jawa yang ditemukan tersebut memiliki ciri-ciri antara lain:

- 1) dapat berdiri dan berjalan dengan dua kaki;
- 2) memiliki volume otak kurang lebih  $770 - 1000 \text{ cm}^3$ ;
- 3) dapat berkomunikasi dengan berbicara;
- 4) dapat membuat alat berburu dan menggunakan api;
- 5) hidup kurang lebih 500.000 s.d. 300.000 tahun yang lalu.

## d. Manusia Peking

Penemuan fosil manusia purba dilakukan oleh **Davidson Black** (Canada) dan **Franz Weiden Reich** (Amerika) pada tahun 1920. Penemuan manusia purba tersebut berada di Gua Kapur, Peking. Hasil penemuan tersebut diberi nama *Sinanthropus pekinensis*.

Ciri-ciri manusia Peking tersebut antara lain:

- 1) memiliki volume otak yang agak besar yaitu kurang lebih  $900 - 1200 \text{ cm}^3$ ;
- 2) diperkirakan hidup sekitar 500.000 tahun yang lalu;
- 3) mampu menggunakan senjata dan perkakas dari tulang dan batu;
- 4) sudah menggunakan api;
- 5) mempunyai kebudayaan yang lebih maju.

## e. Homo Sapiens

Penemuan Homo sapiens oleh **Eugene Dubois** yaitu *Homo wajakensis* yang ditemukan di desa Wajak, Jawa Timur pada tahun 1889. Spesies ini diperkirakan hidup kurang lebih 40.000 tahun.

### 3. Manusia Modern

Manusia modern memiliki ciri-ciri antara lain:

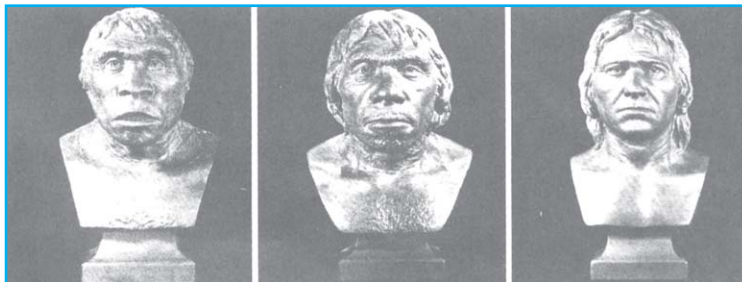
- memiliki volume otak  $\pm 1400 - 1500 \text{ cm}^3$ ;
- memiliki tinggi badan  $\pm 1,6 \text{ m}$ ;
- memiliki peradaban yang maju;
- mempunyai peralatan yang lebih baik;
- suka berburu;
- sudah terdapat hubungan sosial dan upacara ritual;
- diperkirakan hidup sekitar 100.000 – 40.000 tahun yang lalu.

Dari ciri-ciri tersebut, Anda dapat melihat suatu perkembangan terjadi menuju bentuk manusia yang lebih baik.

**Tabel 7.2 Jenis-Jenis Manusia Modern**

No	Nama Jenis	Tempat Ditemukan
1.	Manusia lembah Neanderthal ( <i>Homo neanderthalensis</i> )	Lembah Neanderthal Jerman
2.	Manusia Swanscombe	Inggris
3.	Manusia Cromagnon	Perancis
4.	Manusia Stein heim	Jerman
5.	Manusia Shanidar	Irak
6.	Manusia Gunung Carmel	Palestina
7.	Manusia Solo	Jawa

Dari penjelasan mengenai berbagai sejarah evolusi manusia tersebut, Anda akan memiliki gambaran tentang perkembangan dari generasi ke generasi sehingga membentuk manusia yang lebih sempurna seperti sekarang. Contoh wajah jenis-jenis penemuan tersebut seperti terlihat pada Gambar 7.7.



Gambar 7.7  
Patung manusia purba

Sumber : Biologi 3 Depdiknas  
1995

## • TUGAS KELOMPOK

1. Buatlah suatu kelompok yang terdiri atas 4 orang.
2. Kunjungilah situs purbakala atau Dinas Purbakala. Jika tidak memungkinkan, pergilah ke situs internet.
3. Carilah informasi tentang peninggalan sejarah perkembangan tumbuhan, hewan, atau peradaban manusia yang berkaitan dengan evolusi biologi. Buatlah laporan dari kegiatan ini.

## E PETUNJUK-PETUNJUK ADANYA EVOLUSI

Evolusi dapat diketahui dan dijelaskan melalui fakta sebagai petunjuk. Ada beberapa fakta yang dapat digunakan sebagai petunjuk evolusi, antara lain seperti berikut.

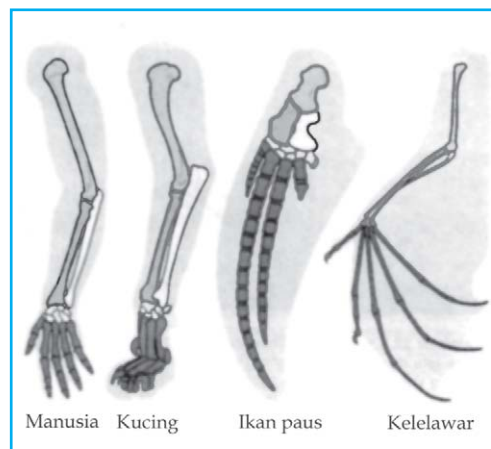
### 1. Anatomi Perbandingan

Jika Anda membandingkan hewan mamalia satu dengan yang lain, mungkin Anda akan berpikir, bahwa bagian-bagian tertentu pada tubuh setiap spesimen disusun menurut pola dasar yang sama dan struktur yang sama, menurut pola dasar yang sama pula. Dapat kita katakan bahwa hanya ada satu cara terbaik dalam menyusun organ tersebut dan cara itulah yang digunakan oleh Sang Pencipta, Tuhan Yang Maha Esa.

Organ-organ fungsional pada makhluk hidup dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut.

#### a. Homologi

Homologi adalah dua organ yang mempunyai bentuk dan fungsi yang berbeda, tetapi kedua organ tersebut memiliki bentuk dasar yang sama. Perbandingan organ-organ secara homologi dapat Anda lihat pada Gambar 7.8 di samping!

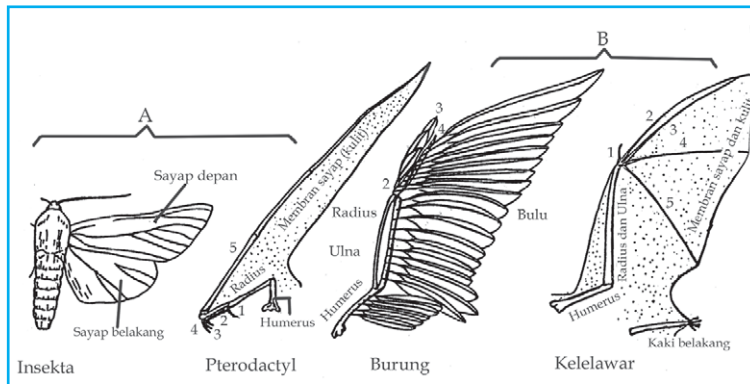


Gambar 7.8 Homologi organ

Sumber : Biologi Campbell, 2002

## b. Analogi

*Analogi* adalah dua organ yang mempunyai bentuk dasar yang berbeda, tetapi akibat peristiwa evolusi konvergen menjadikan organ tersebut mempunyai fungsi yang sama. Agar lebih jelas dapat Anda lihat pada Gambar 7.9!



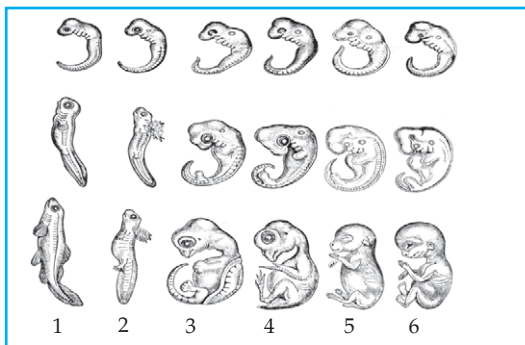
Sumber : Biologi 3, Depdiknas, 1995

Gambar 7.9  
Perbandingan antara analogi dan homologi

## 2. Embriologi Perbandingan

Embrio hewan-hewan dan manusia menunjukkan kecenderungan yang hampir sama. Perhatikan Gambar 7.10!

- Sifat-sifat umum muncul sebelum sifat-sifat yang khusus.
- Perkembangan juga dimulai dari yang umum, kemudian baru menuju perkembangan yang khusus.
- Bentuk embrio dari berbagai makhluk hidup hampir serupa, tetapi pada tahap dewasa menunjukkan perbedaan yang nyata.



Keterangan:

1. Ikan
2. Salamander
3. Kura-kura darat
4. Ayam
5. Kelinci
6. Manusia

Gambar 7.10  
Perbandingan berbagai macam embrio vertebrata

Sumber : Biologi, Kimball, 1999

### 3. Fisiologi Perbandingan

Pada umumnya ditemukan persamaan proses fisiologi antara berbagai makhluk hidup, misalnya dalam hal sintesis protein, proses metabolisme, respirasi, ekskresi, dan lain-lain. Coba Anda ingat lagi pelajaran Kelas XI tentang sistem organ.

### 4. Petunjuk dari Alat Tubuh yang Tersisa (Vestigial)

Pada morfologi beberapa hewan vertebrata dan manusia dapat ditemukan adanya struktur *vestigial*, yaitu suatu bentuk anatomi yang berkembang dan berfungsi sempurna dan akan tereduksi.

Alat-alat tubuh yang tersisa ini dianggap sebagai suatu perjalanan dari evolusi makhluk hidup tersebut.

Struktur vestigial antara lain:

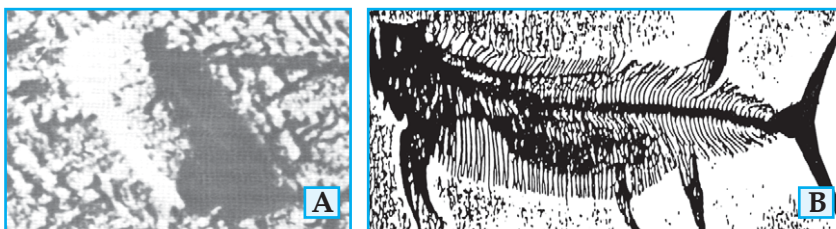
- umbai cacing, tulang ekor, buah dada pada pria;
- sisa-sisa kaki pada ular;
- sisa sayap pada burung yang tidak berfungsi untuk terbang seperti burung pinguin, kasuari, dan burung onta.

### 5. Petunjuk Palaentologi

Palaentologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang fosil. Pada Tugas Kelompok, Anda akan mendapatkan data tentang fosil-fosil yang terdapat di museum, misalnya Sangiran. Dari anggota tubuh manakah fosil-fosil yang disimpan di Museum Sangiran itu?

*Fosil* adalah sisa-sisa makhluk hidup yang telah membatu. Sisa-sisa tersebut dapat berupa tulang, cangkang, gigi, jejak kaki, maupun bagian-bagian yang lain. Contoh-contoh fosil yang pernah ditemukan dapat Anda lihat pada Gambar 7.11 di bawah ini!

Sumber : Biologi Jilid 3,  
Kimball, 1994



Gambar 7.11  
Hasil penemuan fosil (A) Bakteri dan (B) Ikan

Fosil-fosil di atas dipelajari oleh para ilmuwan untuk dikaitkan dengan sejarah evolusi makhluk hidup. Jadi, fosil adalah bukti terjadinya evolusi makhluk hidup.

Beberapa tokoh yang mempelajari tentang fosil adalah sebagai berikut.

**a. Leonardo da Vinci (1452 – 1519)**

**Da Vinci** adalah seorang pelukis terkenal berkebangsaan Italia. Ia berpendapat bahwa fosil merupakan bukti dari adanya makhluk hidup dan kehidupan di masa lampau.

**b. George Cuvier (1769 – 1832)**

**Cuvier** adalah seorang ahli anatomi dari Perancis, yang mempunyai gagasan bahwa makhluk hidup diciptakan khusus pada setiap zaman dan pada setiap zaman tersebut diakhiri dengan makhluk hidup yang berbeda dengan makhluk hidup pada lapisan bumi sebelumnya.

**c. Charles Darwin**

**Darwin** berpendapat bahwa makhluk hidup yang terdapat pada lapisan bumi yang tua akan mengadakan perubahan bentuk yang disesuaikan dengan lapisan bumi yang lebih muda sehingga pada lapisan bumi lebih muda ditemukan fosil yang berbeda dengan lapisan bumi yang lebih tua.

Dari beberapa pendapat tokoh-tokoh evolusioner tersebut dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa pada masa lampau terdapat makhluk hidup yang berbeda dengan makhluk hidup sekarang. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan di permukaan bumi secara bertahap yang menyebabkan adanya perubahan pula pada makhluk hidup untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya.

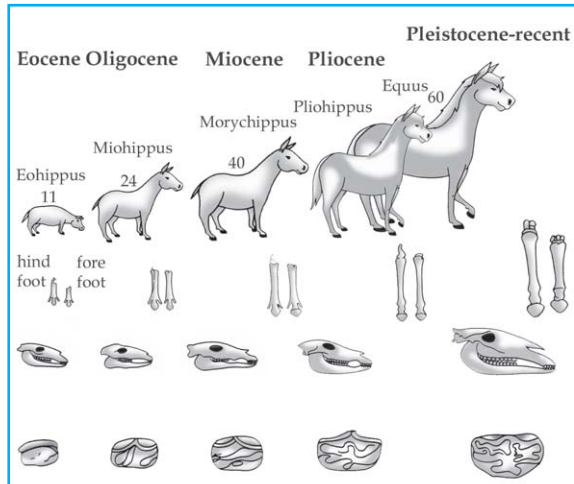
Penemuan berbagai macam fosil biasanya berupa bagian-bagian tubuh tertentu saja dan jarang ditemukan dalam keadaan yang utuh. Hal itu disebabkan oleh faktor-faktor berikut.

- a. Bagian tubuh yang menyusun organisme lunak sehingga mudah hancur dan jarang menjadi fosil.
- b. Terjadinya lipatan batuan bumi atau patahan bumi.
- c. Adanya pengaruh air, angin, dan bakteri.

Fosil yang ditemukan lebih lengkap dari fosil yang lain adalah fosil kuda. Fosil ini ditemukan oleh **Marsh** dan **Osborn**. Hasil penemuan tersebut kemudian dibuat urutan evolusi secara lengkap yang dapat Anda lihat pada Gambar 7.12!

Dari Gambar 7.12 dapat dijelaskan bahwa terdapat perubahan dan perkembangan yang mengarah pada evolusi bentuk dan fungsi antara lain:

- tubuh bertambah besar;
- kepala bagian depan semakin panjang;
- leher semakin panjang sehingga gerakannya semakin bebas;
- perubahan geraham depan dan geraham besar sehingga sangat sesuai untuk makanan yang berupa rumput;
- anggota tubuh yang lain semakin bertambah panjang, sehingga sesuai dengan gerakan untuk berlari cepat;
- jari kaki mereduksi dari lima menjadi satu, sehingga dapat mendukung gerakan ketika berlari cepat.



Gambar 7.12  
Evolusi kuda

Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Selain mengidentifikasi bentuk dan struktur fosil, pada penemuan fosil dapat pula dilakukan penghitungan umur fosil. Penetapan umur fosil dapat dilakukan dengan cara-cara berikut.

- Cara langsung, yaitu dilakukan dengan mengukur umur fosil itu sendiri.
- Cara tidak langsung, yaitu dilakukan dengan mengukur umur lapisan bumi tempat fosil ditemukan.

Contoh cara-cara penetapan umur fosil yaitu seperti berikut.

#### a. Peristiwa Laju Sedimentasi

Hasil sedimentasi ini dapat berbentuk delta. Cara penghitungannya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Umur delta} = \frac{\text{tebal delta}}{\text{laju deposisi}}$$



b. Penentuan Umur dengan Zat Radioaktif

Cara ini dapat dicontohkan sebagai berikut:

Pada peristiwa transformasi uranium (U) ke plumbum (Pb) memiliki lama 7.600.000.000 tahun, maka dapat dirumuskan:

$$\text{Umur lapisan} = \frac{\text{banyak Pb}}{\text{banyak U}} \times 7.600.000.000 \text{ tahun}$$

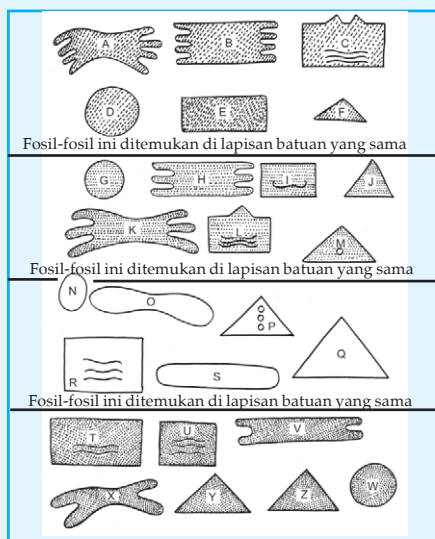
Agar lebih jelas dalam mempelajari tentang fosil, Anda dapat melakukan Kegiatan Kelompok berikut!

## KEGIATAN KELOMPOK 2

- Tujuan** : Mendefinisikan dan menjelaskan teori evolusi kemudian menginterpretasikan bukti adanya fosil untuk mendukung teori evolusi
- Alat dan Bahan** : 1. Gunting  
2. Selotip  
3. Gambar-gambar fosil yang tertera pada gambar

**Cara Kerja** :

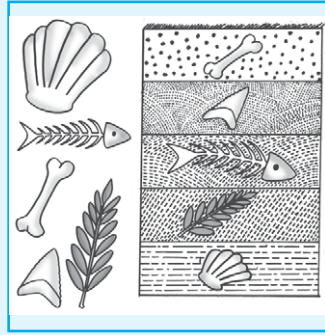
1. Persiapkan gambar fosil seperti terlihat pada gambar A!
2. Potonglah gambar fosil-fosil tersebut!
3. Pisahkan fosil-fosil tersebut berdasarkan bentuknya!
4. Urutkan secara teratur fosil tersebut dari kecil dalam bentuk yang sama! Urutkan bagian paling kecil terletak paling bawah!
5. Perhatikan warna fosil tersebut! Warna gelap menunjukkan usia lapisan batu yang tertua.



Gambar A  
Fosil-fosil (warna yang sama menunjukkan asal lapisan batu yang sama).

Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

6. Ambillah fosil-fosil yang berbentuk segitiga, kemudian cocokkan fosil tersebut dengan warna pada fosil lingkaran!
7. Cocokkan warna fosil-fosil yang lain dengan warna fosil lainnya sehingga didapatkan kelompok-kelompok fosil dengan usia yang sama!
8. Kemudian letakkan hasilnya pada format Gambar B!



Sumber : Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar B  
Lima lapisan batuan

Setelah Anda selesai melakukan Kegiatan Kelompok, cobalah berdiskusi untuk menjawab pertanyaan di bawah ini!

1. Carilah fosil-fosil yang mengalami evolusi
  - a. Dari ukuran yang kecil ke besar
  - b. Dari ukuran besar ke kecil
  - c. Dari bentuk sederhana menjadi kompleks
  - d. Dari bentuk kompleks menjadi sederhana
2. Carilah hubungan antara 2 fosil
  - a. Yang mengalami evolusi dari organisme yang sama
  - b. Yang memulai evolusi secara berbeda tetapi mengalami evolusi bagian-bagian yang sama
3. Di antara fosil-fosil tersebut manakah yang mungkin sudah mati?
4. Coba Anda sebutkan urutan dari fosil-fosil tersebut dari usia tua ke usia muda! Tuliskan hasilnya di buku tugas Anda!

## **G** TEORI ASAL USUL KEHIDUPAN

Pernahkah Anda berpikir kapan bumi ini diciptakan? Di mana dan dengan cara bagaimana kehidupan ini berawal? Pertanyaan-pertanyaan tersebut sebenarnya sering sekali dilontarkan dan hampir berada pada setiap benak orang. Banyak orang ingin mengetahui jawabannya yang pasti, namun semuanya selalu berujung pada Tuhan Yang Maha Esa.

Adanya pertanyaan-pertanyaan tersebut memotivasi para ahli Biologi untuk meneliti asal-usul dari kehidupan itu. Mereka berusaha mencari jawabannya dengan segala macam eksperimen yang dilakukan, kemudian

hasilnya dibuat hipotesis, sehingga teori-teori asal-usul kehidupan ini baru merupakan hipotesis, belum merupakan kenyataan yang pasti, karena tidak seorangpun yang sudah mengalami dan menjadi saksi awal pertama kehidupan dimulai.

Beberapa tokoh-tokoh Biologi yang memiliki gagasan tentang teori asal-usul kehidupan adalah sebagai berikut.

## 1. Teori Abiogenesis (*Generatio Spontanea*)

Teori ini mengatakan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati. Teori **Abiogenesis** dicetuskan pertama kali oleh **Aristoteles** (384 - 322 SM), yang merupakan tokoh ilmu pengetahuan dari Yunani Kuno.

**Aristoteles** melakukan pengamatan ikan-ikan di sungai. Ia berpendapat bahwa ada sebagian ikan-ikan di sungai tersebut yang berasal dari lumpur.

Teori Abiogenesis ini didukung pula oleh seorang ilmuwan Inggris pada tahun 1700 yang bernama **Nedhan**. Ia mencoba melakukan penelitian dengan menggunakan rebusan kaldu. Hasil rebusan kaldu kemudian dimasukkan ke dalam botol dan ditutup dengan gabus. Setelah beberapa hari, ternyata air kaldu tersebut ditumbuhi bakteri. Akhirnya Nedhan menyimpulkan bahwa bakteri berasal dari air kaldu.

Teori ini gugur karena pada abad ke-17, **Antonie van Leeuwenhoek** berhasil membuat mikroskop. Penemuan mikroskop inilah yang mengawali berbagai macam percobaan untuk menguji teori-teori *Abiogenesis*.

**Leeuwenhoek** mencoba mengamati air rendaman jerami dengan menggunakan mikroskop temuannya. Ternyata terlihat bahwa di dalam setetes air rendaman jerami tersebut terdapat benda-benda aneh yang sangat renik.

## 2. Teori Biogenesis

Teori biogenesis adalah suatu teori yang mengemukakan bahwa asal kehidupan suatu makhluk hidup berasal dari makhluk hidup pula. Semboyan teori Biogenesis adalah "*omne vivum ex ovo*" (makhluk hidup berasal dari telur) "*omne vivum ex vivo*" (makhluk hidup berasal dari makhluk hidup yang telah ada). Teori biogenesis ini didukung oleh tokoh-tokoh Biologi lain, seperti berikut.

### a. Francisco Redi (1626 - 1698)

**Francisco Redi** adalah seorang ilmuwan berkebangsaan Italia, ia merupakan orang pertama yang membantah teori *Generatio Spontanea*. Ia melakukan eksperimen untuk mendapat fakta yang benar.

Perangkat percobaan **Francisco Redi** dapat Anda lihat pada Gambar 7.13.



Sumber : Ilustrasi Haryana

Gambar 7.13  
Percobaan Francesco Redi

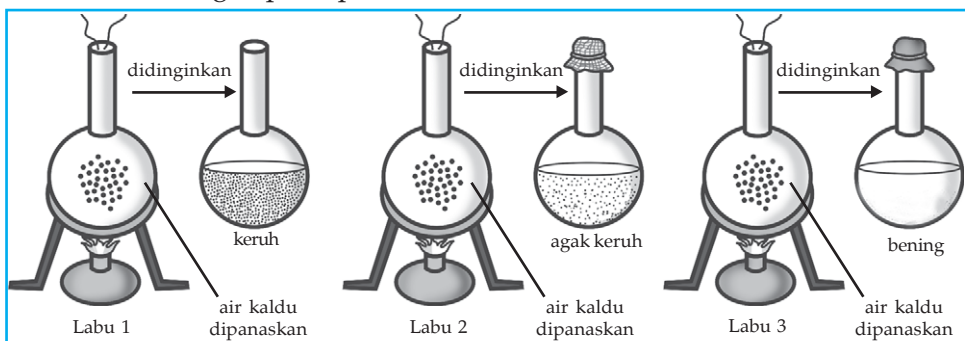
Coba Anda perhatikan perangkat percobaan Francesco Redi pada Gambar 7.13! Ia menggunakan daging segar yang diletakkan di dalam tiga tabung. Perlakuan tabung ditutup rapat, tabung II ditutup kain kasa dan tabung III tidak ditutup dan dibiarkan terbuka.

Setelah beberapa hari **Francisco Redi** mendapatkan hasil eksperimen. Ternyata botol tabung I tidak ada mikroba, tabung II terdapat sedikit mikroba, dan tabung III terdapat banyak mikroba. Dari hasil eksperimen ini Francisco Redi kemudian membuat kesimpulan bahwa mikroba yang berupa belatung yang terdapat pada daging tersebut berasal dari telur-telur lalat yang ditinggalkan pada saat lalat tersebut mengerumuni daging yang membusuk.

Dari hal ini maka teori Abiogenesis runtuh diganti dengan teori Biogenesis yaitu bahwa makhluk hidup tidak begitu saja terbentuk dari benda-benda mati, melainkan dari makhluk hidup juga.

## b. Spallanzani

**Spallanzani** adalah seorang tokoh ilmuwan dari Italia. Ia melakukan kegiatan eksperimen pada tahun 1765, untuk menentang teori Nedham. Spallanzani mengadakan pembuktian dengan air kaldu yang ditempatkan di dalam tabung seperti pada Gambar 7.14 di bawah ini.



Sumber : Ilustrasi Haryana

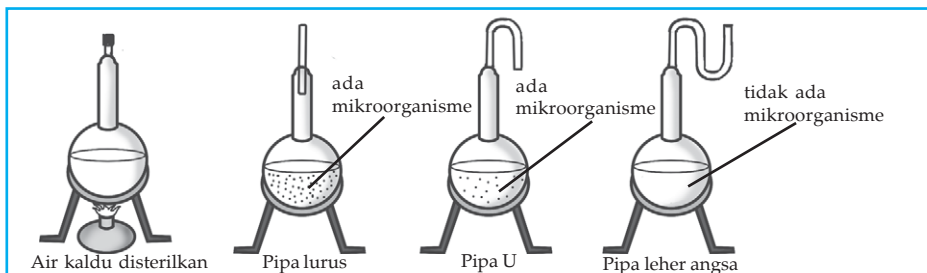
Gambar 7.14  
Model percobaan Spallanzani

Hasil percobaannya sama dengan **Francisco Redi** yaitu makhluk hidup berasal dari sesuatu yang hidup. **Spallanzani** menjelaskan bahwa kegagalan

percobaan Nedham karena Nedham tidak merebus tabung cukup lama sampai semua organisme terbunuh dan Nedham juga tidak menutup leher tabung dengan rapat sehingga masih ada organisme yang masuk dan tumbuh.

### c. Louis Pasteur

**Louis Pasteur** melakukan percobaan pada tahun 1864. Tujuan percobaan Pasteur adalah untuk menguji dan memperbaiki percobaan dari Redi dan Spallanzani. Pasteur membuat labu berleher angsa, yang agak tertutup namun masih dapat berhubungan dengan udara, seperti yang terlihat pada Gambar 7.15! Prinsip tabung ini adalah udara dapat masuk ke dalam tabung, tapi debu akan menempel pada lengkung leher tabung.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 7.15  
Labu percobaan Louis Pasteur

Percobaan yang dilakukan oleh Pasteur adalah merebus kaldu hingga mendidih kemudian kaldu tersebut dibiarkannya beberapa saat di dalam tabung leher angsa.

Setelah beberapa hari, bakteri tidak tumbuh pada kaldu tersebut, tetapi beberapa hari kemudian air kaldu sudah ditumbuhi bakteri.

Dari teori Pasteur inilah maka teori abiogenesis (*Generatio spontanea*) tumbang. Sehingga disimpulkan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup pula.

## 3. Teori Biologi Modern

Teori biologi modern merupakan teori evolusi kimia, yang berpendapat bahwa bumi ini pada awalnya sangat panas sekali, kemudian suatu ketika bumi mengalami proses pendinginan. Dari proses-proses tersebut maka dapat dihasilkan bahan-bahan kimia. Bahan-bahan yang berat akan menyusun bumi sedangkan bahan yang ringan akan menyusun atmosfer.

Teori evolusi kimia dicetuskan oleh beberapa tokoh berikut.

### a. Harold Urey

**Urey** adalah seorang ilmuwan Amerika Serikat yang berpendapat bahwa atmosfer bumi pada suatu saat kaya akan molekul-molekul seperti  $\text{CH}_4$  (metana),  $\text{NH}_3$  (ammonia),  $\text{H}_2$  (hidrogen) dan  $\text{H}_2\text{O}$  dalam bentuk gas.

Adanya energi yang berasal dari aliran listrik halilintar dan radiasi sinar kosmis, akan mengakibatkan molekul-molekul tersebut mengadakan reaksi kimia untuk membentuk zat-zat hidup. Zat hidup yang mula-mula ada kira-kira seperti virus sekarang. Zat hidup ini setelah berjuta-juta tahun berkembang menjadi berbagai jenis organisme.

### b. Stanley Miller

**Miller** adalah murid dari **Urey**. Ia membuat suatu percobaan untuk membuktikan teori Urey. Ia melakukan percobaan dengan mengisi tabung-tabung dengan  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Campuran gas-gas tersebut dialirkan melalui labu dilengkapi elektroda yang dapat melepaskan bunga api listrik yang bertegangan tinggi selama satu minggu.

Setelah percobaan tersebut, dilihat ternyata ditemukan beberapa jenis asam amino. Asam amino adalah zat yang menyusun protoplasma makhluk hidup. Pada temuannya ini asam amino tersebut belum menunjukkan gejala hidup.

### c. A. I. Oparin

**Oparin** adalah seorang ilmuwan berkebangsaan Rusia. Oparin juga memiliki gagasan yang sama seperti Urey, tetapi Oparin tidak dapat membuktikan bahwa reaksi gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  membentuk asam amino. Ia berpendapat bahwa asam amino terbentuk secara alami. Menurut Oparin, lautan bumi pada awalnya memiliki persediaan cukup bahan-bahan organik. Dalam waktu yang lama maka bahan-bahan organik tersebut akan berikatan satu dengan lainnya membentuk selaput-selaput, kemudian molekul organik berselaput ini akan mengikat molekul lainnya dan menyatukan diri sehingga terbentuk gabungan molekul baru yang karakteristik. Ikatan kompleks inilah yang diperkirakan merupakan awal dari kehidupan.

Agar lebih memahami tentang teori asal-usul makhluk hidup kerjakan tugas kelompok di bawah ini!

## • TUGAS KELOMPOK

**Tujuan** : Memahami dan menjelaskan tentang teori asal-usul makhluk hidup

Diskusikan masalah-masalah berikut!

**Bahan diskusi :**

1. Pada percobaannya, Pasteur menggunakan labu leher angsa. Selain itu, Pasteur juga melakukan perebusan/pemanasan pada air

kaldu. Pada akhir percobaan Pasteur berusaha memiringkan labu leher angsa. Dari perlakuan-perlakuan Pasteur di atas, coba Anda diskusikan mengapa Pasteur melakukan hal tersebut? Apa tujuan dari perlakuan-perlakuan tersebut?

2. Pada percobaan Francisco Redi didapatkan jumlah belatung yang berbeda-beda pada masing-masing tabung. Coba Anda jelaskan bagaimana proses terjadinya hal-hal tersebut!
3. Catatlah hasil diskusi Anda di buku tugas dan presentasikan hasilnya di depan kelas!

## **H** TEORI KECENDERUNGAN EVOLUSI

Beberapa teori tentang kecenderungan evolusi adalah sebagai berikut.

### 1. Teori Evolusi Sintesis

Sekelompok ilmuwan yang bersikukuh mempertemukan Darwinisme dengan ilmu genetika dengan segala cara berkumpul dalam sebuah pertemuan yang diadakan oleh "*The Geological Society of Amerika*" atau Perkumpulan Masyarakat Geologi Amerika, pada tahun 1941. Setelah dilakukan pembicaraan panjang, mereka setuju untuk membuat penjelasan baru tentang Darwinisme. Beberapa tahun setelah itu, beberapa ahli menghasilkan sebuah sintesis yang merupakan hasil perpaduan dari berbagai bidang mereka menjadi sebuah teori evolusi lain yang diperbaharui.



Sumber : Encarta Encyclopedia, 2006

Gambar 7.16  
Theodosius Dobzhansky

Para ilmuwan yang berperan serta dalam membangun teori baru ini termasuk ahli genetika, yaitu **G. Ledyard Stebbins** dan **Theodosius Dobzhansky**, ahli ilmu hewan **Ernst Mayr** dan **Julian Huxley**, ahli palaentologi **George Gaylond Simpson** dan **Glenn L**, serta ahli genetika matematis **Sir Ronald A. Fisher** dan **Sewall Wright**.

Mutasi adalah kerusakan yang terjadi untuk alasan yang tidak diketahui, dalam mekanisme penurunan sifat pada makhluk hidup. Makhluk hidup yang mengalami mutasi memperoleh bentuk yang tak lazim dan menyimpan dari informasi genetik yang mereka warisi dari induknya. Konsep "mutasi acak" diharapkan bisa menjawab pertanyaan tentang asal usul



variasi menguntungkan yang menyebabkan makhluk hidup berevolusi sesuai dengan teori Darwin, sebuah kejadian yang Darwin sendiri tidak bisa menjelaskannya, tetapi hanya mencoba menghindarinya dengan mengacu pada teori Lamarck. Kelompok *The Geological Society of America* (Perkumpulan Masyarakat Geologi Amerika) menamai teori baru ini dan membuat rumusan dengan menambahkan gagasan mutasi pada teori seleksi alam Darwin sebagai teori evolusi sintesis. Dalam waktu singkat teori ini menjadi dikenal dengan nama *neo-Darwinisme*. Namun, terdapat sebuah masalah besar. Memang benar bahwa mutasi mengubah informasi genetik makhluk hidup, tetapi perubahan ini selalu terjadi dengan dampak merugikan bagi makhluk hidup bersangkutan.

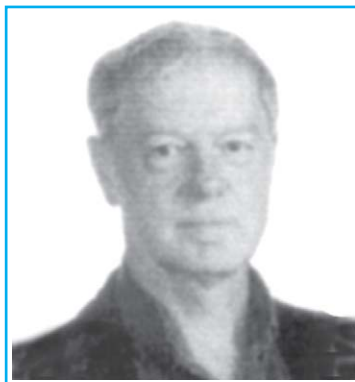
Semua mutasi yang teramati menghasilkan makhluk yang cacat dan lemah, atau berpenyakit dan kadang membawa kematian pada makhluk tersebut. Oleh karena itu, dalam upaya untuk mendapatkan contoh mutasi-mutasi menguntungkan yang memperbaiki informasi genetika pada makhluk hidup neo-Darwinisme melakukan banyak percobaan dan pengamatan. Selama puluhan tahun, mereka melakukan percobaan mutasi pada lalat buah dan berbagai spesies lainnya. Namun, tak satu pun dari percobaan ini memperlihatkan mutasi yang memperbaiki informasi genetik pada makhluk hidup.

Menurut para penganut neo-Darwinisme, saat ini permasalahan mutasi masih menjadi kebuntuan besar bagi Darwinisme. Meskipun teori seleksi alam menganggap mutasi sebagai satu-satunya sumber dari perubahan menguntungkan, tidak ada mutasi dalam bentuk apapun yang teramati dan benar-benar menguntungkan yang memperbaiki informasi genetik.

Satu kebuntuan lain bagi neo-Darwinisme datang dari catatan fosil. Bahkan pada masa Darwin, fosil telah menjadi rintangan yang penting bagi teori ini. Sementara Darwin sendiri mengakui tak adanya fosil spesies peralihan. Dia juga meramalkan bahwa penelitian selanjutnya akan menyediakan bukti atas bentuk peralihan yang hilang ini.

## 2. Teori dalam Krisis

Seorang ahli biokimia Australia yang bernama **Prof. Michael Denton** menyanggah teori Darwinisme. Menurut dia terdapat pertentangan mencolok ketika teori evolusi dihadapkan dengan penemuan-penemuan ilmiah dalam berbagai bidang seperti asal-usul kehidupan, genetika populasi, anatomi



Gambar 7.17  
Prof. Michael Denton

Sumber: [www.harunyahya.com/indo/buku](http://www.harunyahya.com/indo/buku)



perbandingan, ilmu fosil, dan biokimia. Menurut dia, evolusi adalah sebuah teori yang sedang dilanda krisis.

Dalam bukunya **Evolution: A Theory in Crisis (1985)** yang artinya evolusi sebuah teori dalam krisis, Denton menguji teori ini ditinjau dari berbagai cabang ilmu dan menyimpulkan bahwa teori seleksi alam sangatlah jauh dalam memberikan penjelasan bagi kehidupan di bumi. Tujuan Denton dalam mengajukan sanggahannya bukanlah untuk menunjukkan kebenaran dari pandangan lain, tetapi hanya membandingkan Darwinisme dengan fakta-fakta ilmiah. Selama dua dasawarsa terakhir, banyak evolusionis lain menerbitkan karya-karya penting yang mempertanyakan keabsahan teori evolusi Darwin.

### 3. Teori Harun Yahya

**Harun Yahya** dalam buku-buku karyanya membahas tentang beberapa hal yang menanggapi tentang teori evolusi sebelumnya yang dicetuskan oleh Darwin dan kaum evolusionis lainnya.

Dalam bukunya, Harun Yahya menyampaikan antara lain tentang variasi dan spesies, mitos homologi, ketidakabsahan pernyataan homologi molekuler.

Pendapat Harun Yahya terhadap hal-hal itu adalah sebagai berikut.

#### a. Variasi dan Spesies

Evolusi menyebut variasi dalam suatu spesies sebagai bukti kebenaran teorinya. Namun menurut Harun Yahya, variasi bukanlah bukti evolusi karena variasi hanya hasil aneka kombinasi informasi genetis yang sudah ada, dan tidak menambahkan karakteristik baru pada informasi genetis.

Variasi selalu terjadi dalam batasan informasi genetis yang ada. Dalam ilmu genetika, batas-batas ini disebut “kelompok gen” (*gene pool*). Variasi menyebabkan semua karakteristik yang ada di dalam kelompok gen suatu spesies bisa muncul dengan beragam cara. Misalnya, pada suatu spesies reptil, variasi menyebabkan kemunculan varietas yang relatif berekor panjang atau berkaki pendek, karena baik informasi tentang kaki pendek maupun panjang terdapat dalam kantong gen. Namun, variasi tidak mengubah reptil menjadi burung dengan menambahkan sayap atau bulu-bulu, atau dengan mengubah metabolisme mereka. Perubahan demikian memerlukan penambahan informasi genetis pada makhluk hidup, yang tidak mungkin terjadi dalam variasi.



#### Perlu Diketahui



Harun Yahya lahir di Ankara, Turki pada tahun 1956. Setelah menamatkan pendidikan

dasar dan lanjutannya di Amerika, ia kemudian mempelajari seni rupa di Universitas Mimar Sinan Istanbul dan filsafat di Universitas Istanbul.

Dalam buku **The Origin of Species**, Darwin menyatakan bahwa paus berevolusi dari beruang yang berusaha berenang. Darwin menganggap bahwa kemungkinan variasi dalam spesies tidak terbatas.

Pendapat ini dibantah oleh Harun Yahya. Ia berpendapat bahwa ilmu pengetahuan abad ke-20 telah menunjukkan bahwa skenario evolusi ini hanya khayalan.

## **b. Mitos Homologi**

Dalam ilmu biologi, kemiripan struktural di antara spesies yang berbeda disebut *homologi*. Evolusionis mencoba mengajukan kemiripan tersebut sebagai bukti evolusi. Darwin mengira bahwa makhluk-makhluk dengan organ yang mirip (homolog) memiliki hubungan evolusi di antara mereka dan organ-organ ini diwarisi dari nenek moyang yang sama. Menurut asumsinya, merpati dan elang memiliki sayap karena itu merpati, elang, dan bahkan semua unggas bersayap berevolusi dari nenek moyang yang sama.

Menurut Harun Yahya, homologi merupakan argumen menyesatkan yang dikemukakan hanya berdasarkan kemiripan fisik sejak zaman Darwin hingga sekarang, argumen ini belum pernah dibuktikan oleh satu temuan konkret pun. Tidak pernah ditemukan satu pun fosil nenek moyang imajiner yang memiliki struktur-struktur homolog. Harun Yahya mengatakan ada hal-hal yang memperjelas bahwa homologi tidak membuktikan teori evolusi. Pendapat Harun Yahya adalah sebagai berikut.

- 1) Organ-organ homolog ditemukan pula pada spesies-spesies yang sangat berbeda, bahkan evolusionis tidak dapat menunjukkan hubungan evolusi di antara spesies-spesies tersebut.
- 2) Kode-kode genetis beberapa makhluk yang memiliki organ-organ homolog sama sekali berbeda satu sama lain.
- 3) Perkembangan embriologis organ-organ homolog benar-benar berbeda pada makhluk-makhluk yang berbeda.

Misalnya adanya organ-organ serupa pada spesies yang berbeda. Ada sejumlah organ homolog yang sama-sama dimiliki berbagai spesies berbeda, namun evolusionis tidak mampu menunjukkan hubungan evolusi di antara mereka, misalnya sayap. Selain burung, sayap terdapat pula pada hewan mamalia (seperti kelelawar), pada serangga, bahkan pada jenis reptil yang telah punah (beberapa dinosaurus). Tetapi evolusionis tidak menyatakan hubungan evolusi atau kekerabatan di antara keempat kelompok hewan ini.

Contoh mencolok lainnya adalah kemiripan yang menakjubkan pada struktur mata berbagai jenis makhluk. Misalnya, walaupun gurita dan manusia adalah dua spesies yang jauh berbeda, struktur dan fungsi keduanya sangat mirip. Namun, evolusionis tidak menyatakan bahwa mereka mampu-

nyai nenek moyang yang sama karena kemiripan mata. Contoh-contoh ini dan banyak lagi lainnya memastikan bahwa pernyataan “organ-organ homolog membuktikan spesies makhluk hidup berevolusi dari satu nenek moyang yang sama” tidak memiliki landasan ilmiah.

### c. Ketidakabsahan Pernyataan Homolog Molekuler

Pengajuan homologi sebagai bukti evolusi tidak saja gagal pada tingkat organ, tetapi juga pada tingkat molekuler. Evolucionis mengatakan bahwa ada kemiripan antara kode-kode DNA atau struktur-struktur protein pada spesies-spesies yang berbeda dan kemiripan ini membuktikan bahwa makhluk-makhluk hidup ini telah berevolusi dari nenek moyang yang sama atau dari satu sama lain. Sebagai contoh, media evolusionisme senantiasa menyatakan bahwa “ada kemiripan besar antara DNA manusia dan DNA kera”. Kemiripan ini dikemukakan sebagai bukti hubungan evolusi antara manusia dan kera.

Contoh paling berlebihan dari argumen ini mengacu pada terdapatnya 46 kromosom pada manusia dan beberapa jenis kera seperti simpanse. Evolucionis menganggap kedekatan jumlah kromosom antara spesies berbeda merupakan bukti evolusi. Namun, jika hal ini benar, manusia memiliki kerabat lebih dekat dengan kentang, dibandingkan dengan kera atau simpanse, karena kentang memiliki jumlah kromosom lebih dekat dibanding dengan jumlah kromosom manusia, yaitu 46. Dengan kata lain, manusia dan kentang memiliki jumlah kromosom yang sama. Contoh nyata tetapi menggelikan ini menunjukkan bahwa kemiripan DNA tidak lagi dijadikan sebagai bukti hubungan evolusi.

Di sisi lain, terdapat perbedaan molekuler yang sangat besar di antara makhluk-makhluk yang tampaknya mirip dan berkerabat. Sebagai contoh, struktur-C, salah satu protein penting bagi pernapasan, sangat berbeda pada makhluk-makhluk hidup dalam kelas yang sama.

## 4. Implikasi Teori Evolusi dalam Masyarakat

Beberapa implikasi teori evolusi yang terjadi dalam masyarakat adalah sebagai berikut.

- a. Prof. Dr Sangkat Marzuki seorang peneliti di Indonesia mengadakan penelitian tentang asal-usul manusia Indonesia. Hasilnya adalah nenek moyang manusia Indonesia berasal dari Afrika.
- b. Di beberapa wilayah di Indonesia, misalnya di Bali terdapat tempat penangkaran hewan-hewan tentang seperti buaya, kura-kura, dan penyu, badak cula satu di Ujung Kulon dan di Bengkulu dilakukan pula usaha pelestarian bunga *Rafflesia arnoldi* dan bunga bangkai. Semua

usaha ini dilakukan untuk menghindari kepunahan jenis hewan dan tumbuhan sebagai akibat dari seleksi alam.

- c. Beberapa usaha mendapatkan bibit unggul tanaman dilakukan melalui proses seleksi dan hibridisasi. Usaha ini dilakukan dengan cara mengkaji hubungan antara evolusi, genetika, dan lingkungan. Tumbuhan hasil seleksi tersebut akan memiliki nilai ekonomis karena hasilnya yang menguntungkan dan dapat menunjang kebutuhan manusia. Kita dapat mengambil manfaat dari hal ini, yaitu melakukan budidaya tanaman, misalnya suatu tanaman jenis mustard alami yang diseleksi untuk menghasilkan tanaman brokoli, kubis, kembang kol, dan lain-lain.

## RANGKUMAN

1. Teori evolusi menjelaskan perkembangan makhluk hidup secara bertahap dalam jangka waktu lama.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya evolusi adalah mutasi, seleksi alam, perkawinan tak acak, aliran gen, dan genetik drift.
3. Evolusi berdasarkan arahnya dibedakan menjadi evolusi progresif dan evolusi regresif. *Evolusi progresif* terjadi apabila individu dapat bertahan hidup, sedangkan *evolusi regresif* terjadi apabila individu mengalami kepunahan.
4. Evolusi berdasarkan skala perubahan evolusi dapat dibedakan menjadi *makroevolusi* dan *mikroevolusi*.
5. Makroevolusi terjadi bila perubahannya besar, sedangkan mikroevolusi terjadi bila perubahannya kecil.
6. Evolusi berdasarkan hasil akhir dibedakan menjadi evolusi *divergen* dan *konvergen*. Evolusi divergen adalah apabila perubahannya berasal dari satu spesies menjadi banyak spesies baru, sedangkan evolusi konvergen apabila perubahannya didasarkan pada adanya kesamaan struktur antara dua organ pada garis sama dari nenek moyang yang sama.
7. *Fosil* adalah sisa-sisa makhluk hidup yang telah membatu, berupa tulang, cangkang, gigi, maupun jejak kaki yang dapat digunakan sebagai bukti terjadinya proses evolusi.
8. *Palaentologi* adalah ilmu yang mempelajari tentang fosil.
9. Teori asal-usul makhluk hidup terdiri atas teori *Abiogenesis* dan teori *Biogenesis*.

10. Teori abiogenesis menyebutkan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati, sedangkan teori biogenesis menyebutkan makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

## LATIHAN



### I. Pilihlah jawaban yang benar!

1. Teori asal-usul kehidupan disusun berdasarkan ....
  - a. hipotesis terhadap apa yang mungkin terjadi
  - b. kenyataan kehidupan yang ada sekarang
  - c. pengamatan peristiwa yang sedang terjadi
  - d. hasil analisis data peristiwa masa lampau
  - e. jawaban b dan d benar
2. Stanley Miller menyusun teori asal-usul kehidupan berdasarkan informasi tentang berbagai kondisi pada awal kejadian berikut, kecuali ....
  - a. gas-gas dalam atmosfer
  - b. energi alam yang tersedia waktu itu
  - c. fosil-fosil purba yang terkumpulkan
  - d. keadaan bumi pada mulanya
  - e. keadaan suhu
3. Teori *Biogenesis* atau *Generatio Spontanea* merupakan teori yang menyatakan bahwa ....
  - a. kehidupan terjadi dengan sendirinya (spontan)
  - b. kehidupan berasal dari benda mati
  - c. kehidupan berasal dari sel prokariotik
  - d. kehidupan berasal dari sel eukariotik
  - e. kehidupan berasal dari sel kehidupan yang sudah ada sebelumnya
4. Dalam satu spesies terdapat variasi yang dapat dijadikan sebagai petunjuk adanya evolusi, sebab variasi ....
  - a. merupakan petunjuk adanya mutasi
  - b. hanya terdapat pada spesies yang berbeda
  - c. terjadi karena persaingan hidup
  - d. selalu terjadi karena mutasi
  - e. mengarah pada terbentuknya jenis baru

5. Organ-organ berikut ini yang bersifat analog, yaitu ....
- kaki depan katak dan kaki depan kadal
  - kaki depan kadal dan sayap kelelawar
  - kaki depan katak dan sayap kupu-kupu
  - sayap burung dan sayap kelelawar
  - sayap kupu-kupu dan sayap burung
6. Bukti evolusi yang berupa alat-alat tubuh manusia yang masih tersisa adalah ....
- gigi seri rata, otot piramida, rambut pada dada
  - gigi geraham depan, buah dada laki-laki, tulang ekor
  - gigi geraham berlekuk, umbai cacing, selaput mata bagian dalam
  - otot obligus, rambut pada daun telinga, kuku berwarna putih.
  - gigi taring runcing, appendiks, otot penggerak telinga.
7. Filogeni menjelaskan perkembangan makhluk hidup dalam evolusi, sedangkan ontogeni mempersoalkan perkembangan zigot sampai dewasa. Pernyataan berikut yang benar adalah ....
- filogeni sangat bertentangan dengan ontogeni
  - filogeni sangat erat hubungan dengan evolusi
  - filogeni merupakan rekapitulasi dari ontogeni
  - ontogeni sangat erat hubungannya dengan evolusi
  - ontogeni merupakan rekapitulasi dari filogeni
8. Contoh-contoh analogi dan homologi, antara lain sebagai berikut.
- (1) Kaki manusia dan kaki belakang kuda
  - (2) Sayap kelelawar dan sayap burung
  - (3) Sayap burung dan tangan manusia
  - (4) Sayap kupu-kupu dan tangan manusia
  - (5) Sayap kupu-kupu dan sayap burung
- Pasangan organ yang homolog adalah ....
- 1 dan 2
  - 1 dan 5
  - 2 dan 4
  - 3 dan 4
  - 3 dan 5

9. Hukum **Hardy-Weinberg** tidak berlaku apabila ....
- kemungkinan terjadinya mutasi A ke a atau sebaliknya sama besar
  - AA, Aa, dan aa memiliki viabilitas dan fertilitas yang sama
  - perkawinan antara genotipe satu dengan yang lain telah diatur
  - tidak terjadi migrasi
  - jumlah individu anggota populasi besar
10. Berikut ini merupakan pernyataan tentang fosil.
- (1) Fosil hanya dapat dibentuk dari bagian yang keras pada hewan yang tidak mudah mengalami pelapukan
  - (2) Fosil terbentuk hanya dari sisa-sisa hewan
  - (3) Fosil mendukung teori evolusi
- Dari pernyataan di atas, yang benar adalah ....
- 1, 2, dan 3
  - 1 dan 2
  - 1 dan 3
  - 2 dan 3
  - hanya 3
11. Variasi pada spesies didorong oleh adanya faktor-faktor ....
- komunitas dan populasi
  - isolasi dan seleksi alam
  - isolasi dan populasi
  - seleksi alam dan jenis kelamin
  - adaptasi dan modifikasi
12. Ikan paus, ikan lumba-lumba, dan beberapa ikan besar memiliki sisa-sisa kaki yang kecil, tetapi saat ini tak satu pun dari hewan tersebut yang mempunyai kaki. Alasan yang tepat dari kasus ini menurut teori evolusi adalah ....
- diciptakannya organisme baru sesuai dengan zaman batuan-nya
  - penyusutan bagian tubuh akibat habitat tidak sesuai
  - organisme yang ada sekarang ini merupakan hasil proses perubahan di masa lampau
  - penyusutan bagian tubuh akibat habitat tidak sesuai
  - penyusutan bagian tubuh akibat tidak dapat difungsikan

13. Teori asal usul kehidupan yang menyanggah teori abiogenesis klasik dikemukakan oleh ilmuwan berikut, *kecuali* ....
  - a. Fransisco Redi
  - b. Aristoteles
  - c. Lazzaro Spallanzani
  - d. Louis Pasteur
  - e. Harold Urey
14. Dari suatu populasi manusia yang berjumlah 900 orang terdapat 9 orang wanita buta warna maka, frekuensi gen normalnya adalah ....
  - a. 20,30
  - b. 0,90
  - c. 0,10
  - d. 0,97
  - e. 0,93
15. Dalam suatu wilayah tertentu terdapat penduduk albino (aa) sebanyak 9%, sedangkan yang normal (AA dan Aa) 91%. Frekuensi gen albino (gen a) sebesar ....
  - a. 0,80
  - b. 0,03
  - c. 0,95
  - d. 0,09
  - e. 0,30

## II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan benar!

1. Apakah yang dimaksud evolusi?
2. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi terjadinya evolusi? Jelaskan!
3. Bagaimanakah pendapat Charles Darwin tentang evolusi?
4. Jelaskan proses evolusi leher jerapah menurut Lamarck dan Erasmus Darwin!
5. Apakah yang dimaksud dengan fosil?
6. Jelaskan bukti-bukti petunjuk tentang evolusi makhluk hidup!
7. Apakah yang dimaksud dengan seleksi alam?
8. Jelaskan tentang teori Abiogenesis dan teori Biogenesis!
9. Mengapa teori Abiogenesis tumbang dan tidak diakui kebenarannya?
10. Jelaskan tentang teori Evolusi Biokimia!



**Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Pada zaman sekarang, banyak sekali dilakukan usaha-usaha untuk mendapatkan bibit unggul, baik di bidang pertanian maupun peternakan. Menurut Anda, adakah kaitan antara ditemukannya bibit-bibit unggul dan proses evolusi? Jelaskan pendapat Anda! Bagaimana Anda menyikapi penemuan bibit-bibit unggul tersebut jika dikaitkan dengan kebutuhan dan kelestarian plasma nutfah?
2. Makhluk hidup sekarang berasal dari proses evolusi yang panjang dan sangat lama. Menurut Anda apakah manusia sekarang ini akan selalu mengalami proses evolusi? Jika dikaitkan dengan kehidupan zaman sekarang, manusia dituntut untuk berpikir sehingga dapat survival dalam kehidupannya. Organ tubuh yang sering dipakai dalam hal ini adalah otak. Menurut pendapat Anda bagaimanakah arah evolusi jika dikaitkan dengan hal tersebut?
3. Mutasi umumnya merugikan, tetapi dalam kenyataannya setiap spesies berevolusi ke arah yang baik. Menurut Anda benarkah pernyataan tersebut? Jelaskan pendapat Anda tentang pernyataan tersebut sehingga menjadi suatu pendapat yang dibenarkan!
4. Hitler adalah seorang pemimpin militer Jerman. Ia sangat mendukung teori Darwin. Dalam praktik pemerintahannya dia menggunakan teori evolusioner. Usaha yang dia lakukan untuk mempercepat evolusi manusia adalah dengan membunuh orang-orang cacat. Menurut Anda dapatkah usaha mempercepat evolusi manusia versi Hitler berhasil? Jelaskan pendapat Anda disertai alasan yang tepat!
5. Dengan mempelajari perbandingan tentang fosil dari berbagai lapisan bumi yang berlainan, Anda akan memperoleh petunjuk bahwa evolusi memang pernah terjadi. Jelaskan tentang hal tersebut!

# BAB 8 BIOTEKNOLOGI

## Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini Anda akan mempelajari materi tentang bioteknologi. Dengan mempelajari materi ini diharapkan Anda dapat memahami arti, prinsip-prinsip dasar, serta peranan bioteknologi dalam kehidupan dan mampu mengimplikasinya pada salingtemas.

Perhatikan makanan khas di Indonesia pada Gambar 8.1 berikut!



Sumber: Haryana, 2007

Gambar 8.1 Tempe dan kecap

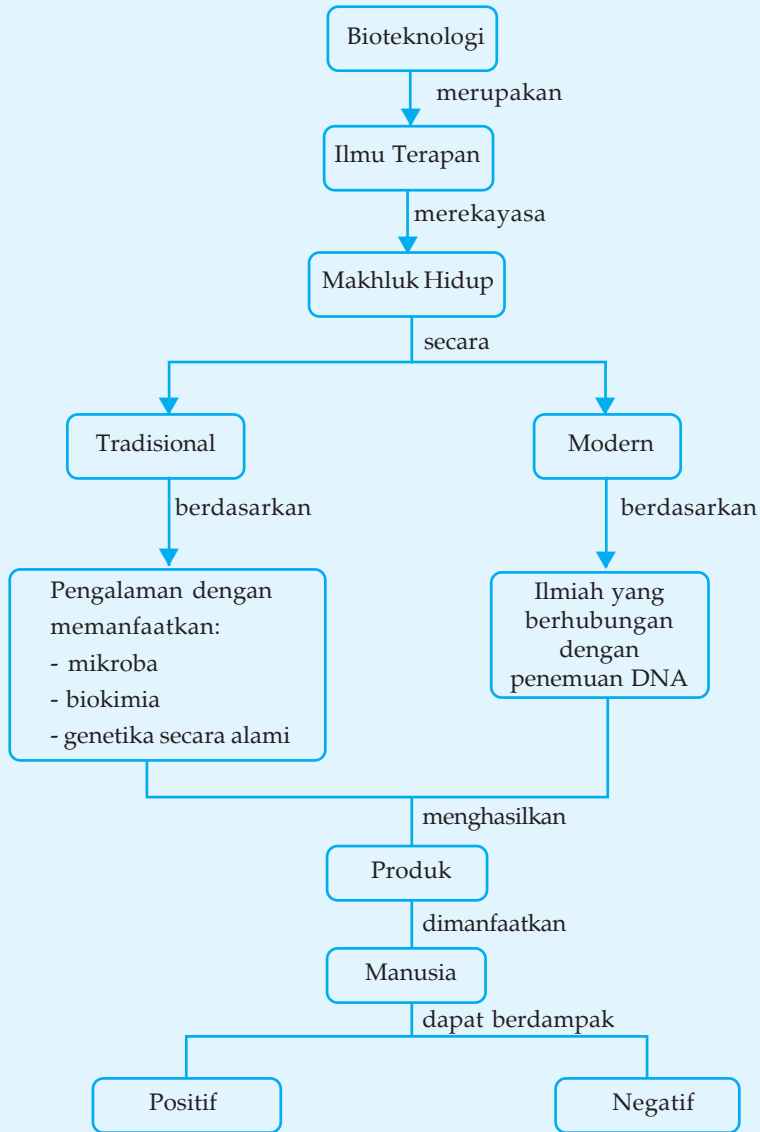
## Kata Kunci

- bioteknologi
- rekayasa
- fermentasi
- gen
- DNA
- RNA
- plasmid
- totipotensi

Tempe dan kecap merupakan makanan sehari-hari yang sering kita makan, demikian juga tape, asinan sayuran, dan yoghurt. Makanan dan minuman tersebut merupakan contoh sebagian kecil dari hasil produksi bioteknologi yang sudah kita rasakan manfaatnya dalam kehidupan kita.

Sebenarnya produk-produk makanan dan minuman tersebut merupakan hasil kerja suatu organisme yang telah dikenal dengan proses fermentasi atau peragian. Pernahkah terlintas dalam pikiran Anda, dari manakah makanan yang kita makan setiap hari itu berasal dan bagaimana pula cara pembuatannya?

## PETA KONSEP

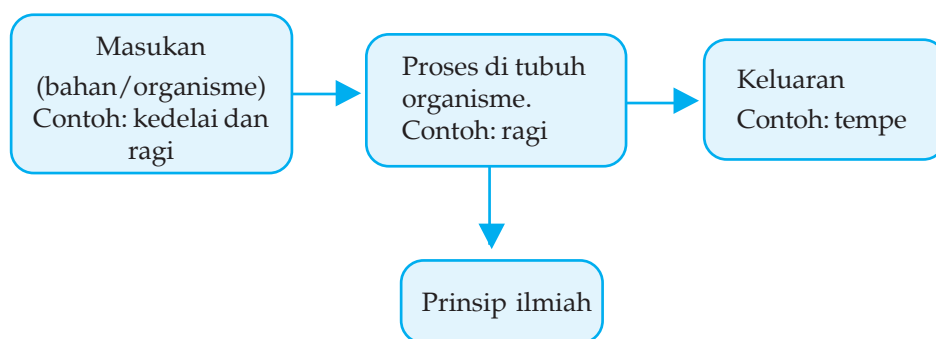


Sejalan dengan kemajuan ilmu pengetahuan, bioteknologi juga mengalami perkembangan semakin pesat dan prosesnya semakin canggih, misalnya dalam bidang pertanian sudah dapat digunakan mikroorganisme dalam fiksasi nitrogen untuk pupuk tanaman itu sendiri, terciptanya tumbuhan yang tahan terhadap kekeringan sehingga sangat menguntungkan bagi petani. Apa sebenarnya arti bioteknologi itu? Mari kita pelajari bersama!

## A PENGERTIAN BIOTEKNOLOGI

Tempe merupakan salah satu contoh hasil dari bioteknologi. Coba Anda amati dan perhatikan cara pembuatan tempe. Tempe berasal dari kedelai, setelah mengalami proses dengan pemberian ragi tempe, maka akan dihasilkan tempe. Ragi tempe merupakan salah satu jenis jamur, yaitu *Rhizopus oryzae*, coba Anda ingat kembali pelajaran di kelas X tentang jamur! Karena hasil kerja dari jamur inilah akan dihasilkan suatu tempe.

*Bioteknologi* berasal dari bahasa latin, yaitu *bio* (hidup), *tehnos* (teknologi= penerapan) dan *logos* (ilmu) yang berarti ilmu yang menerapkan prinsip-prinsip biologi. Jadi, sebenarnya bioteknologi bukan suatu disiplin ilmu, melainkan suatu ilmu terapan. Menurut Sardjoko (1991), bioteknologi adalah proses-proses biologi oleh mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk kepentingan manusia. Bioteknologi bisa diartikan suatu pemanfaatan makhluk hidup atau rekayasa organisme sistem atau proses biologis untuk menghasilkan suatu produk yang bermanfaat bagi manusia yang menghasilkan suatu barang, atau dapat dikatakan pemanfaatan prinsip-prinsip ilmiah dengan menggunakan makhluk hidup untuk menghasilkan produk bagi kepentingan manusia. Agar lebih jelas perhatikan skema pada Gambar 8.2 berikut.



Gambar 8.2 Skema proses bioteknologi

Dari skema tersebut dapat diketahui terdapat komponen-komponen, yaitu adanya bahan yang akan diproses (contoh kedelai), organisme yang melakukan proses (contohnya ragi *Rhizopus oryzae*), prinsip-prinsip ilmiah dalam proses (cara kerja organisme), dan hasilnya berupa produk (contohnya tempe).

## TUGAS INDIVIDU •

Berdasarkan contoh skema di atas, cobalah Anda membuat skema pembuatan makanan oncom yang sudah terkenal di daerah Jawa Barat dan tape! Apa saja bahan bakunya, organisme yang berperan, proses pembuatan dan hasil produknya!

Tempe adalah makanan yang sudah lama kita kenal. Walaupun dalam bentuk sederhana, makanan ini sudah menggunakan bioteknologi, yaitu merupakan bentuk dari *bioteknologi* secara *tradisional* atau *konvensional*. Bioteknologi tradisional yang dilakukan berdasarkan pengalaman, sebenarnya sudah mengandung prinsip-prinsip ilmiah. Produk tersebut dilakukan berdasarkan pengalaman, tanpa memahami organisme yang berproses dan bagaimana reaksinya. Bioteknologi tradisional ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan umumnya belum dapat diproduksi secara massal.

Pada masa sekarang, pengetahuan manusia sudah lebih maju. Dengan menggunakan *bioteknologi modern* dapat diketahui organisme yang akan digunakan dan hasil yang diperoleh. Dengan cara meneliti jenis-jenis organisme yang akan digunakannya, manusia dapat memilih organisme yang paling baik untuk memenuhi proses persyaratannya, dapat menyediakan tempat atau lingkungan hidupnya sehingga sel-sel dalam organisme tersebut dapat tumbuh dengan baik sehingga hasil produksinya dapat optimum.

Pelaksanaan bioteknologi secara modern biasanya lebih rumit. Perkembangan bioteknologi modern ini tidak bisa lepas terhadap ilmu yang lain misalnya ilmu biokimia, genetika, biologi molekuler, fisika, mikrobiologi, dan biologi sel. Misalnya, penemuan bayi tabung yang saat ini sudah berkembang dan berhasil dengan baik. Proses dalam pembentukan bayi tabung ini memerlukan alat yang canggih dan sulit untuk dilakukan.

Berdasarkan uraian tersebut, sebutkan perbedaan antara bioteknologi tradisional dan teknologi modern dengan mengisi tabel berikut!

## TUGAS INDIVIDU

Tuliskan perbedaan bioteknologi tradisional dan modern!

Kerjakan di buku tugas Anda!

Bandingkan hasilnya dengan teman-teman Anda, buatlah kesimpulan!

Bioteknologi Tradisional	Bioteknologi Modern

Jika kita amati, perkembangan bioteknologi selalu menggunakan organisme atau makhluk hidup dalam menghasilkan suatu produk, misalnya peragian, persilangan, pemutasian, penyambungan gen, pembuatan antibodi atau vaksin. Mengapa digunakan organisme atau makhluk hidup? Seperti yang dilakukan sejak dahulu bahwa organisme ini mudah didapatkan, memiliki sifat yang dapat berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan manusia, dapat berkembang biak, dan dapat dikembangkan sebagai suatu sumber daya alam yang dapat dipulihkan, dapat menghasilkan produk untuk keperluan kebutuhan hidup manusia.

Kita harus bersyukur kepada Tuhan karena hidup di negara yang banyak mempunyai keanekaragaman organisme sehingga berbagai macam organisme ini dapat dimanfaatkan manusia untuk keperluan hidupnya yaitu untuk peningkatan produksi pangan, pertanian, peternakan, kedokteran, dan bidang lain.

### **B** BIOTEKNOLOGI TRADISIONAL (KONVENSIONAL)

Apabila kita kaji bersama, sebenarnya bioteknologi sudah diterapkan sejak dahulu, misalnya adanya minuman sejenis bir dan anggur. Minuman ini merupakan minuman yang berasal dari proses fermentasi (peragian) dari penggunaan jasad hidup seperti bakteri dan jamur. Penggunaan bakteri dan jamur ini dimanfaatkan dengan kemampuan metabolismenya untuk mensintesis suatu produk tertentu yang bermanfaat bagi manusia.

Bioteknologi tradisional merupakan bioteknologi yang memanfaatkan mikroba, proses biokimia dan proses genetik secara alami, misalnya mutasi dan rekombinasi genetik.

Tahukah Anda bahwa aplikasi bioteknologi tradisional mencakup berbagai aspek kehidupan manusia, yaitu aspek pangan, peternakan, pertanian, dan kesehatan.

## 1. Pangan

Berikut ini contoh dari bioteknologi tradisional di bidang pangan, antara lain sebagai berikut.

- a. Tempe, bahan dasar dari kedelai, merupakan hasil fermentasi dari jamur *Rhizopus*.
- b. Tape, bahan dasarnya singkong atau beras ketan, merupakan hasil fermentasi dari *Saccharomyces cereviceae*.
- c. Kecap, bahan dasarnya kacang kedelai hasil fermentasi dari jamur *Aspergillus*.

Berikan contoh-contoh yang lain!

## 2. Peternakan

Pada bidang peternakan misalnya:

- a. hasil mutasi alam yang menghasilkan domba ankon, yaitu domba yang berkaki pendek dan bengkok;
- b. sapi Jersey yang dapat menghasilkan susu dan kandungan krim yang lebih bagus.

## 3. Pertanian

Beberapa contoh bioteknologi tradisional di bidang pertanian adalah:

- a. hidroponik, tentu Anda sudah mengetahui hidroponik merupakan cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah, tetapi dengan media air sebagai pengganti tanah untuk pertumbuhan tanaman,
- b. tanaman jenis mustard alami yang diteliti yang dapat menghasilkan tanaman, kubis, kembang kol, dan lain sebagainya.

## 4. Kesehatan

Di bidang kesehatan ingatlah kembali pelajaran kelas X, misalnya:

- a. vaksin merupakan mikroorganisme yang toksinnya dimatikan dan dapat bermanfaat untuk meningkatkan imunitas.
- b. antibiotik, merupakan hasil isolasi dari bakteri dan jamur yang dapat dimanfaatkan untuk pengobatan.

Penggunaan mikroorganisme dilakukan secara langsung dan sederhana. Dengan cara tersebut kemungkinan akan dihasilkan zat-zat atau senyawa penting bagi manusia.

## **C** BIOTEKNOLOGI MODERN

Perlu Anda ketahui bioteknologi modern sudah mulai berkembang setelah adanya penemuan struktur DNA pada tahun 1950.

Bioteknologi sangat berhubungan dengan ilmu pengetahuan. Pada dasarnya bioteknologi merupakan penerapan ilmu pengetahuan yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan hidup manusia. Sejalan dengan perkembangan zaman dan pengetahuan, maka bioteknologi tradisional berkembang menjadi modern karena cara pengerjaannya juga lebih modern dibandingkan dengan bioteknologi tradisional. Hal ini ditunjang oleh penemuan-penemuan baru di bidang ilmu-ilmu yang lain, misalnya mikrobiologi, biokimia, genetika, biologi molekuler, biologi sel, dan fisika.

Hingga saat ini telah dihasilkan beberapa terapan bioteknologi ini misalnya adanya kultur jaringan, kloning, inseminasi buatan, bayi tabung, radiasi, hidroponik, aeroponik, teknik rekombinasi gen, dan rekayasa genetik.

Bioteknologi modern merupakan bioteknologi berdasarkan pada manipulasi atau rekayasa DNA, yang dilakukan dengan memodifikasi gen-gen spesifik dan memindahkannya pada organisme yang berbeda seperti bakteri, tumbuhan, dan hewan.

Seperti halnya bioteknologi tradisional, bioteknologi modern juga mencakup berbagai aspek kehidupan, yaitu aspek pangan, peternakan, pertanian, dan kesehatan.

### **1. Pangan**

Beberapa contoh hasil bioteknologi modern adalah sebagai berikut.

- a. Kentang hasil mutasi genetik yang mempunyai kadar pati dapat mengikat 20% lebih tinggi daripada biasa.
- b. Tomat hasil dari manipulasi genetik sehingga tidak cepat matang, tahan lama, dan tidak cepat membusuk.

### **2. Peternakan**

Beberapa contoh bioteknologi modern bidang peternakan.

- a. Ternak unggul hasil dari manipulasi sehingga menghasilkan daging dan susu yang unggul pula.
- b. Kambing identik dengan domba, sapi, dan lain-lain, hasil dari pembelahan embrio secara fisik.



### 3. Pertanian

Beberapa contoh hasil dari bioteknologi modern di bidang pertanian adalah sebagai berikut.

- a. Jagung dan kapas setelah gennya dimanipulasi dapat resisten terhadap serangan penyakit gen tertentu.
- b. Hasil radiasi dari seleksi biji-bijian kedelai menghasilkan tanaman kedelai tengger dan kedelai hijau camar yang berumur pendek dengan produktivitas tinggi.

### 4. Kesehatan

Beberapa contoh hasil dari bioteknologi modern di bidang kesehatan adalah:

- a. manipulasi produksi vaksin dengan menggunakan *Eschericia coli* di bidang pangan agar lebih efisien;
- b. hormon pertumbuhan somatotropin hasil dari *Eschericia coli*.

## **D** BIOTEKNOLOGI DENGAN MENGGUNAKAN MIKROORGANISME

Pada umumnya bioteknologi menggunakan mikroorganisme karena dapat tumbuh dengan cepat, mengandung protein yang cukup tinggi, dapat menggunakan produk-produk sisa sebagai substratnya misalnya dari limbah dapat menghasilkan produk yang tidak toksik dan reaksi biokimianya dapat dikontrol oleh enzim organisme itu sendiri. Bioteknologi dengan menggunakan mikroorganisme dapat menghasilkan makanan dan minuman, penghasil obat, pembasmi hama tanaman, pengolah limbah, pemisah logam dari bijih logam.

### 1. Mikroorganisme Pengubah dan Penghasil Makanan dan Minuman

Proses fermentasi dari suatu organisme dapat mengubah suatu makanan dan minuman. Ingatlah kembali pelajaran Metabolisme, proses fermentasi merupakan perubahan enzimatik secara anaerob dari suatu senyawa organik dan menjadi produk organik yang lebih sederhana. Mengapa mikroorganisme dijadikan sebagai sumber makanan? Hal tersebut disebabkan mikroorganisme dapat tumbuh menjadi dua kali lipat dan juga massa mikroba minimal mengandung 40% protein dan memiliki kandungan vitamin dan mineral yang tinggi.

Beberapa jenis mikroorganisme dalam produk makanan dan minuman adalah sebagai berikut.

#### **a. Pembuatan Tape**

Tape merupakan makanan hasil fermentasi yang mengandung alkohol. Makanan ini dibuat dari beras ketan ataupun singkong dengan jamur *Endomycopsis fibuligera*, *Rhizopus oryzae*, ataupun *Saccharomyces cereviceae* sebagai ragi. Ragi tersebut tersusun oleh tepung beras, air tebu, bawang merah dan putih, kayu manis. Sebelum membuat tape perlu diperhatikan untuk menghasilkan kualitas yang bagus, warnanya menarik, rasanya manis dan strukturnya lembut dengan menggunakan cara antara lain:

- a. bahan dasar singkong atau beras ketan memiliki kualitas baik;
- b. memperhitungkan macam dan banyak ragi yang digunakan;
- c. memilih cara pemasakan bahan dasar (ditanak atau direbus);
- d. memilih cara menyimpan tape (dengan plastik atau daun);
- e. memperhatikan keadaan lingkungan pada saat menyimpannya.

Adakalanya pembuatan tape ketan dilanjutkan yang akhirnya akan menghasilkan brem, baik untuk diminum atau untuk kue.

#### **b. Pembuatan Tempe**

Tempe adalah makanan yang populer di negara kita. Meskipun merupakan makanan yang sederhana, tetapi tempe mempunyai atau mengandung sumber protein nabati yang cukup tinggi. Tempe terbuat dari kedelai dengan bantuan jamur *Rhizopus* sp. Jamur ini akan mengubah protein kompleks kacang kedelai yang sukar dicerna menjadi protein sederhana yang mudah dicerna karena adanya perubahan-perubahan kimia pada protein, lemak, dan karbohidrat.

Selama proses fermentasi kedelai menjadi tempe, akan dihasilkan antibiotika yang akan mencegah penyakit perut seperti diare. Bagaimana rasa perut Anda apabila makan tempe setiap hari? Bagaimana pula cara membuat tempe? Coba Anda lihat kembali pelajaran kelas X tentang jamur atau fungi!

#### **c. Pembuatan Oncom**

Pernahkan Anda makan oncom? Oncom merupakan makanan yang dikenal di kawasan Jawa Barat. Oncom terbuat dari ampas tahu, yaitu ampas kedelai dengan bantuan jamur *Neurospora sitophila*. Jamur ini dapat menghasilkan zat warna merah atau oranye yang merupakan pewarna alami. *Neurospora* dapat mengeluarkan enzim amilase, lipase protease yang aktif selama proses fermentasi. Selain itu, juga dapat menguraikan bahan-bahan dinding sel ampas kacang kedelai, singkong, atau kelapa. Fermentasi ini juga menyebabkan terbentuknya sedikit alkohol dan berbagai ester yang beraroma sedap.

#### d. Pembuatan Kecap

Kecap terbuat dari kacang kedelai berwarna hitam. Untuk mempercepat fermentasi biasanya dicampurkan sumber karbohidrat atau energi yang berbentuk tepung beras atau nasi, sedangkan warna larutan kecap yang terjadi, tergantung pada waktu.

Perendaman kedelai dilakukan dalam larutan garam, maka pembuatan kecap dinamakan fermentasi garam. Fermentasi pada proses pembuatan kecap dengan menggunakan jamur *Aspergillus wentii* dan *Rhizopus* sp. Coba Anda perhatikan beberapa kecap di pasaran, ada yang kental, ada pula yang encer. Kecap yang kental karena banyak ditambahkan gula merah, gula aren, atau gula kelapa, sedangkan kecap yang encer dikarenakan mengandung lebih banyak garam. Ada juga kecap ikan, kecap udang, dan sebagainya. Itu bisa dilakukan karena selama proses pembuatan ada penambahan sari ikan ataupun sari udang ke dalamnya.

#### e. Pembuatan Asinan Sayuran

Asinan sayuran merupakan sayuran yang diawetkan dengan jalan fermentasi asam. Bakteri yang digunakan adalah *Lactobacillus* sp., *Streptococcus* sp., dan *Pediococcus*. Mikroorganisme tersebut mengubah zat gula yang terdapat dalam sayuran menjadi asam laktat. Asam laktat yang terbentuk dapat membatasi pertumbuhan mikroorganisme lain dan memberikan rasa khas pada sayuran yang difermentasi atau sering dikenal dengan nama 'acar'. Bagaimana cara membuat asinan sayuran? Untuk mengetahuinya lakukan Kegiatan Kelompok 1 berikut ini!

### KEGIATAN KELOMPOK 1

**Tujuan** : Membuat asinan sayuran

**Alat dan Bahan** :

1. Kubis segar
2. Pisau
3. Stoples atau wadah yang bersih
4. Garam dan air

**Cara Kerja** :

1. Sediakan kubis segar sekitar 1-2 kg, rajang/iris-iris menjadi kecil dan tempatkan ke dalam tempat bersih yang ditutup misalnya stoples.
2. Tambahkan air bersih secukupnya ke dalam stoples, sampai menggenangi permukaan kubis.
3. Tambahkan garam dapur 2,5%, aduk hingga rata.

4. Bagian atas tempat ditutup dengan lembaran plastik yang diikat hingga tidak ada lubang untuk udara luar memasukinya.
5. Setelah 3 – 5 hari, ukurlah nilai derajat keasaman dengan menggunakan kertas pH. Jika sudah asam berarti proses tersebut sudah selesai dan siap digunakan. Dapat juga ditambahkan bumbu sesuai dengan selera.

**Catatan :**

Jika derajat keasamannya sudah sesuai, berarti prosesnya berjalan dengan baik dan di dalam tempat didapatkan banyak asam organik, khususnya asam laktat yang dapat dipergunakan untuk pengawetan bahan makanan, sayuran, atau buah-buahan.

Cobalah Anda membuat asinan dengan menggunakan buah misalnya mentimun!

#### **f. Pembuatan Roti**

Jika Anda makan roti atau donat, pernahkah Anda berpikir bila pembuatan roti atau donat itu sebenarnya juga melalui proses fermentasi? Proses fermentasi ini dibantu dengan bantuan *yeast* atau *khamir* yaitu sejenis jamur. Jika Anda mempunyai kesempatan memperhatikan pembuatan roti atau donat, maka adonan tepung akan mengembang. Mengapa bisa mengembang?

Yeast yang ditambahkan pada adonan tepung akan menjadikan proses fermentasi, yaitu akan menghasilkan gas karbon dioksida dan alkohol. Gas karbon dioksida tersebut dapat berguna untuk mengembangkan roti, sedangkan alkohol dibiarkan menguap. Selanjutnya, akan terlihat jika adonan tersebut dioven akan tampak lebih mengembang dan ukurannya membesar, hal ini dikarenakan gas akan mengembang jika temperatur tinggi. Hasilnya seperti yang Anda lihat roti akan berwarna kekuningan dan lembut, tetapi jika tidak beruntung roti akan keras dan padat (bantat), coba Anda pikirkan!

#### **g. Pembuatan Keju**

Pada umumnya keju disukai banyak orang. Keju dibuat dari air susu yang diasamkan dengan memasukkan bakteri, yaitu *Lactobacillus bulgarius* dan *Streptococcus thermophilus*. Untuk mengubah gula susu (laktosa) menjadi asam susu (asam laktat) susu dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu dengan maksud untuk membunuh bakteri yang berbahaya agar berhasil dalam proses pembuatannya. Selanjutnya, ditambahkan campuran enzim yang mengandung renin untuk menggumpalkan susu sehingga terbentuk lapisan, yaitu berupa cairan susu yang harus dibuang, sedangkan bagian yang padat diperas dan dipadatkan. Enzim tersebut akan menambah aroma dan rasa, juga akan mencerna protein dan lemak menjadi asam amino.

Pada umumnya keju dapat dikelompokkan menurut kepadatannya yang dihasilkan dalam proses pemasakan. Keju menjadi keras apabila kelembabannya kecil dan pemampatannya besar. Jika masa inkubasinya semakin lama, maka keasamannya makin tinggi sehingga cita rasanya makin tajam. Misalnya, keju romano, parmesan sebagai keju sangat keras, keju cheddar, swiss sebagai keju keras yang berperan *Propionibacterium* sp., keju roquefort yang berperan *Pennicillium reguerforti* sebagai keju setengah lunak, keju camemberti sebagai keju lunak yang berperan *Pennicillium camemberti*.

#### **h. Pembuatan Yoghurt**

Yoghurt merupakan minuman yang terbuat dari air susu. Apabila dibandingkan dengan susu biasa, yoghurt dapat memberikan efek pengobatan terhadap lambung dan usus yang terluka. Selain itu, yoghurt dapat menurunkan kadar kolesterol dalam darah sehingga mencegah penyumbatan di pembuluh darah.

Dalam proses pembuatannya, air susu dipanaskan terlebih dahulu agar tidak terkontaminasi bakteri yang lain. Setelah dingin, ke dalam air susu dimasukkan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Susu dibiarkan selama 4-6 jam pada suhu 38°C – 44° C atau selama 12 jam pada suhu 32°C. Pada masa inkubasi akan dihasilkan asam laktat, asam inilah yang membuat yoghurt berasa asam, dapat juga ditambahkan dengan buah, kacang, atau rasa lain yang diinginkan.

Cobalah Anda praktikkan pembuatan salah satu contoh produk makanan atau minuman di atas, lihat kembali cara pembuatannya di kelas X!

Beberapa jenis makanan hasil fermentasi dapat Anda lihat pada Tabel 8.1 berikut ini!



#### **Perlu Diketahui**

Yoghurt mengandung jutaan bakteri menguntungkan sehingga sanggup menekan bakteri yang merugikan dalam saluran pencernaan, ia juga lebih mudah dicerna dibandingkan susu biasa.

**Tabel 8.1 Makanan Hasil Fermentasi**

No	Nama Makanan	Bahan Baku	Mikroba yang berperan /Keterangan
1.	Tempe bongkrek	Kedelai + ampas kelapa	<i>Rhizopus oligosporus</i> <i>Rhizopus stoloniferus</i> <i>Pseudomonas cocovenenans</i>
2.	Tauco	Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus</i> <i>Rhizopus stoloniferus</i> <i>Rhizopus oryzae</i>
3.	Pindang makasar	Ikan laut	<i>Lactobacillus</i> sp.
4.	Terasi	Ikan + tepung + sayuran	<i>Lactobacillus</i> sp.
5.	Peda siam	Ikan kembung	<i>Lactobacillus</i> sp. <i>Rhodospirillum</i> sp.
6.	Pindang garut	Ikan air tawar	<i>Lactobacillus</i> sp.
7.	Petis	Ikan	<i>Lactobacillus</i> sp.
8.	Asinan buah-buahan	Buah-buahan	<i>Lactobacillus</i> sp. <i>Rhizopus</i> sp.
9.	Nata de coco	Air kelapa	<i>Acetobacter xylinum</i> .

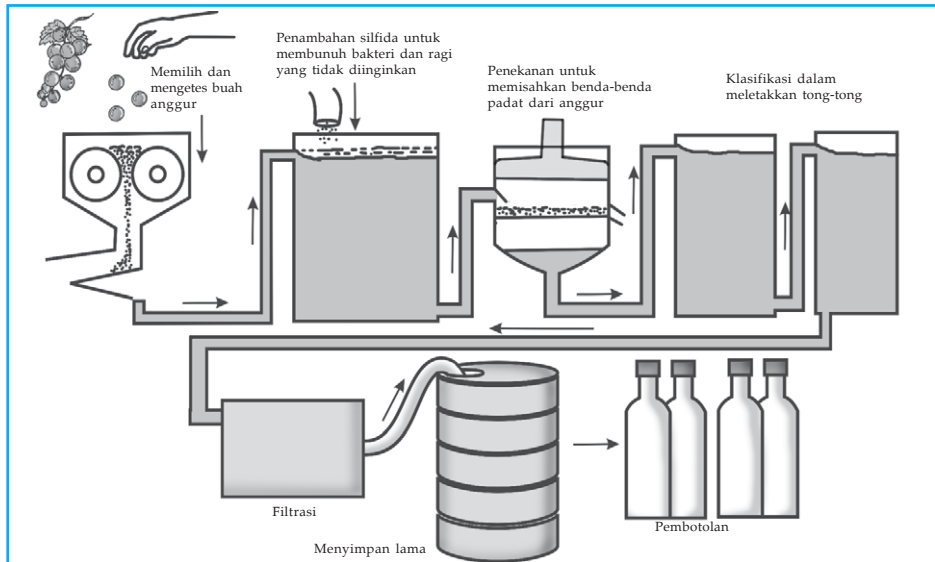
#### i. Minuman Berakohol

Coba Anda sebutkan minuman yang beralkohol! Anggur dan bir merupakan sebagian dari contohnya. Mikroorganisme yang digunakan adalah khamir dari genus *Saccharomyces*. Minuman yang sangat terkenal yaitu anggur sebenarnya adalah buah anggur yang sudah mengandung gula sehingga dapat digunakan secara langsung oleh ragi selama proses fermentasi. Pada proses pembuatan minuman ini sudah tidak diperlukan tambahan gula lagi, apabila ingin menambah cita rasa dapat ditambahkan buah-buahan dan gula secukupnya.

Bakteri yang digunakan adalah bakteri yang bersifat asam laktat karena buah anggur mengandung asam malat yang tinggi. Bakteri tersebut akan mengubah asam malat menjadi asam laktat yang lemah dan proses ini disebut fermentasi malolaktat sehingga hasil minumannya memiliki rasa yang lebih baik dan sedikit asam. Coba Anda perhatikan proses pembuatannya pada Gambar 8.3! Jika ingin berwirausaha Anda dapat mencobanya!

Bir sebenarnya merupakan produk yang berasal dari tepung biji padi-padian yang difermentasi oleh ragi. Hanya ragi tersebut tidak bisa menggunakan tepung itu secara langsung. Cara pembuatannya, yaitu biji padi-padian dibiarkan untuk berkecambah terlebih dahulu, kemudian dikeringkan lalu digiling, hasilnya

disebut dengan *malt* yang berupa glukosa dan maltosa, dan proses perubahan tersebut dinamakan dengan *malting*. Selanjutnya baru difermentasi oleh ragi menjadi etanol dan karbondioksida. Bagaimana untuk produk wiski dan vodka, berasal dari bahan apakah minuman itu?



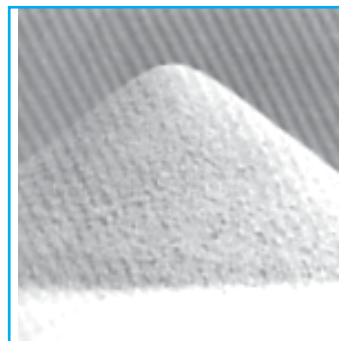
Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 8.3 Proses pembuatan minuman anggur

#### j. Protein Sel Tunggal (PST)

Mengingat jumlah penduduk yang semakin meningkat dan masalah penyediaan bahan pangan yang semakin berkurang terasa adanya ketidakseimbangan antara hasil pertanian dan kebutuhan, bahkan sumber protein yang belum mencapai sasaran sehingga diperlukan cara baru melalui teknologi dengan hasil teknoprotein yang dinamakan Protein Sel Tunggal (PST).

Protein sel tunggal merupakan protein yang dihasilkan oleh mikroorganisme misalnya ganggang, bakteri dan berada di dalam sel mikroorganisme tersebut, coba Anda buka kembali pelajaran kelas X. Mikroorganisme tersebut memiliki protein yang beratnya mencapai 80 % dari berat total sel. Jika mikroorganisme tersebut memiliki kemampuan reproduksi yang sangat cepat, maka akan dihasilkan protein dalam jumlah yang banyak dalam waktu yang singkat.



Sumber: Biologi 3, 2006

Gambar 8.4. Protein sel tunggal

Contohnya :

- Ganggang hijau *Chlorella*. Ganggang ini hidup di air tawar yang menghasilkan protein yang dapat dimanfaatkan untuk makanan tambahan.
- Ganggang *Spirulina* juga merupakan sumber protein sel tunggal.
- Bakteri *Methylophilus methylotrophus*, bakteri ini memiliki kandungan protein, yaitu asam nukleat (asam inti) yang tinggi yang sulit dicerna, dapat diolah dan digunakan sebagai makanan ternak.

**Tabel 8.2 Jenis mikroba penghasil PST**

No	Kelompok	Jenis Mikroba yang Berperan
1	Bakteri	<i>Bacillus</i> , <i>Hidrogenomonas</i> , <i>Metthanomonas</i> , dan <i>Pseudomonas</i>
2	Ragi	<i>Candida</i> , <i>Rhodotorula</i> , <i>Endomycopsis</i> , dan <i>Saccharomyces</i>
3	Jamur	<i>Pleurotus</i> , <i>Agaricus</i> , <i>Lentinus</i>
4	Alga/ganggang	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , dan <i>Spirulina</i>

## 2. Mikroorganisme Penghasil Obat

Mikroorganisme juga dapat membantu di bidang kesehatan yaitu dalam pengobatan, misalnya digunakan untuk antibiotik dan vaksin.

### a. Antibiotik

Antibiotik sebenarnya merupakan suatu zat kimia hasil dari mikroorganisme yang dapat menghambat pertumbuhan atau mematikan mikroorganisme lainnya. Pembuatan antibiotik ini harus dalam lingkungan steril agar terhindar dari kontaminasi yang mungkin terjadi, sehingga pertumbuhan mikroorganisme yang diinginkan dapat optimal dan menghasilkan produk yang optimal juga. Antibiotik ini pertama kali ditemukan oleh **Alexander Fleming** yang diberi nama *Penicilin* yang dihasilkan oleh *Penicillium*. Jamur ini hidup dengan menyerap makanan dari lingkungan yang digunakan untuk metabolisme, bahkan dapat menghasilkan zat yang disekresikan ke lingkungannya dan dapat membunuh mikroorganisme lain. Beberapa kelompok dari antibiotik adalah sebagai berikut.



### 1) **Penicilin**

Penicilin ini dapat menghambat infeksi dengan mencegah terbentuknya dinding sel bakteri sehingga tidak membahayakan sel manusia. Jadi, apabila Anda sakit disebabkan oleh bakteri atau virus, maka penggunaan antibiotik ini tidak ada gunanya.

Komponen utama penicilin adalah penisilin G yang dapat diubah menjadi bentuk-bentuk lain. Penicilin G terdegradasi oleh asam lambung sehingga lebih baik penicilin diberikan melalui suntikan. Ada juga jenis penicilin yang tidak dipengaruhi oleh asam lambung, dapat berupa sirup atau tablet.

### 2) **Tetrasiklin**

Perlu Anda ketahui tetrasiklin dihasilkan dari bakteri *Streptomyces aureofaciens*. Tetrasiklin mengikat kalsium dan diakumulasi dalam tulang dan gigi yang sedang berkembang. Tetrasiklin aktif melawan bakteri yang memiliki larutan yang sama dengan penicilin.

### 3) **Sefalosporin**

Sefalosporin dihasilkan oleh jamur *Cephalosporium*. Sefalosporin yang terbaru sangat efektif untuk melawan bakteri yang resisten terhadap penicilin.

### 4) **Eritromisin**

Eritromisin bermanfaat untuk melawan bakteri yang resisten terhadap penicilin atau dapat digunakan untuk pasien yang alergi terhadap penicilin.

### **b. Vaksin**

Pada masa ini berjuta-juta orang melakukan vaksinasi terutama bagi anak-anak yang masih kecil. Vaksin telah membantu dalam pencegahan serangan penyakit. Vaksin berasal dari mikroorganisme yang telah dilemahkan atau dimatikan. Vaksin pada umumnya dimasukkan dengan suntikan atau oral ke dalam tubuh manusia agar aktif melawan mikroorganisme tersebut. Contohnya, vaksin disentri, tetanus, dan lain-lain.

#### **TUGAS KELOMPOK**

Agar lebih jelas mengetahui penggunaan antibiotik, Anda dapat mencari informasi lebih banyak. Anda bisa pergi ke puskesmas, rumah sakit atau menanyakan pada dokter untuk menambah pengetahuan Anda.

### 3. Mikroorganisme Pembasmi Hama Tanaman

Salah satu cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan adalah penggunaan mikroorganisme sebagai pengendali hayati dalam membasmi hama tanaman. Pengendalian hama dapat digunakan dengan musuh alam; misalnya bakteri di tanah dan tanaman yaitu *Bacillus thuringiensis*. Bakteri ini dikembangkan menjadi insektisida mikrobial, yang menghasilkan protein kristal yang dapat membunuh serangga, yaitu larva atau ulat serangga.

Tahukah Anda, *Bacillus thuringiensis* sekarang ini dikembangkan dengan campuran tertentu, dapat sebagai perekat dan langsung disemprotkan pada tanaman pertanian.

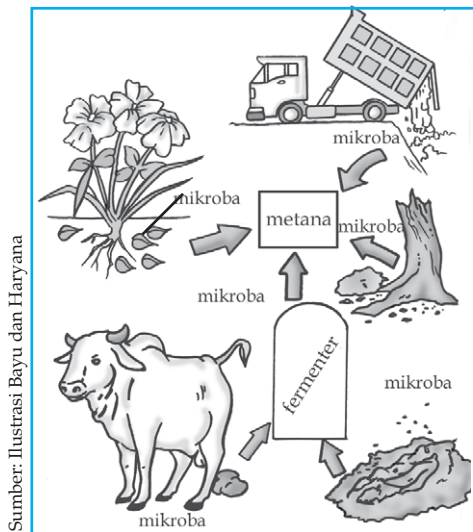
#### ✓ Perlu Diketahui

Saat ini telah ditemukan bakteri yang mampu membersihkan limbah beracun sekaligus menghasilkan listrik. Dapat digunakan untuk menjalankan peralatan listrik berdaya rendah. Penelitian dilakukan oleh Charles Miliken dan Harold May dari Universitas Kedokteran Carolina Selatan. Desulfotobacteria berhasil mengungkap kemampuannya untuk menghancurkan dan mengatasi polutan yang paling berbahaya yaitu PCB (*Polychlorinated biphenyl*) dan beberapa larutan kimia.

### 4. Mikroorganisme yang Berperan dalam Bidang Industri

#### a. Sebagai Penghasil Energi

Minyak bumi dan batu bara semakin lama akan semakin habis karena merupakan sumber daya alam tidak dapat diperbarui dan cadangannya semakin tipis. Apabila kebutuhan manusia meningkat apa yang akan terjadi? Saat ini sudah dikembangkan gas bio sebagai penghasil energi. Apa yang dimaksud dengan gas bio? Gas bio merupakan gas metana yang diproduksi oleh mikroorganisme di dalam medium kotoran ternak dengan tangki fermenter.



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 8.5 : Pembuatan gas bio

Prosesnya mikroorganisme mencerna kotoran menjadi gas metana, gas ini kemudian dapat dialirkan ke rumah-rumah sebagai penghasil energi seperti gas elpiji. Limbahnya sangat baik untuk pupuk tanaman. Agar lebih jelas lihat Gambar 8.5!

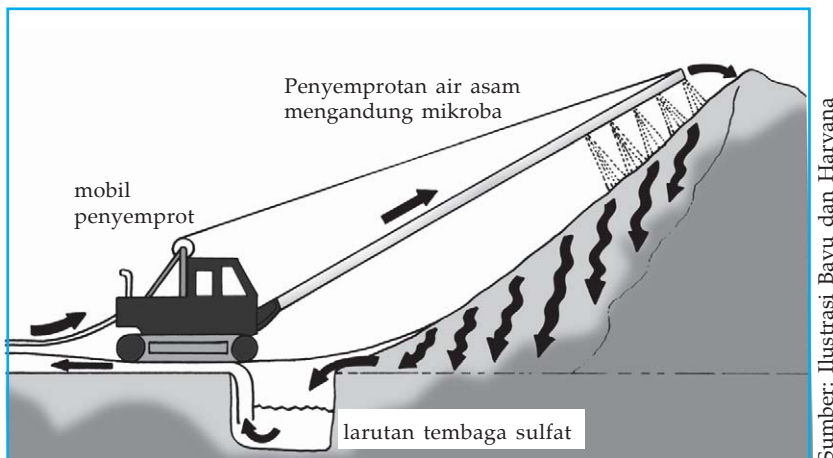
## b. Sebagai Pencerna Limbah

Limbah organik di rumah tangga, industri, pasar pada umumnya dibuang ke sungai yang dapat mengakibatkan pencemaran. Mikroorganisme dapat mengolah limbah melalui penguraian secara aerob dan anaerob. Secara aerob pada beberapa mikroorganisme (bakteri, protista, dan jamur) yang menguraikan materi organik dari limbah menjadi mineral-mineral, gas-gas, dan air. Hal tersebut membutuhkan banyak oksigen. Pemrosesan limbah ada dua materi, yaitu menggunakan lumpur aktif dan proses menggunakan saringan tetes.

Sistem pengolahan dengan lumpur aktif merupakan pengolahan limbah cair yaitu bakteri aerobik dalam suatu bak limbah yang telah diberi aerasi, bertujuan untuk menurunkan bahan organik yang mengandung karbon atau nitrogen dalam limbah. Sedangkan sistem pengolahan dengan saringan tetes merupakan pengolahan limbah cair yang menggunakan biofilm yang merupakan lapisan mikroorganisme yang menutupi hamparan saringan atau filter pada dasar bak limbah. Hamparan tersebut berupa tumpukan arang, plastik, dan kerikil. Penguraian secara anaerob merupakan proses biologis gas bio (gas metan =  $\text{CH}_4$ ). Gas bio dapat berguna sebagai sumber energi alternatif yaitu pembakaran untuk menghasilkan listrik.

Tahukah Anda bahwa bakteri dapat mencerna limbah? Bakteri tersebut dimasukkan dalam bak yang berisi limbah yang diberi lubang untuk masuknya udara (aerator), sehingga limbah akan terurai dan dapat dibuang ke lingkungan yang airnya sudah dipisahkan dari endapannya. Misalnya limbah logam berat yaitu Chromium, limbah tersebut dapat direduksi oleh bakteri *Enterobacter cloacae* sehingga tidak akan membahayakan lagi bagi manusia.

## c. Sebagai Pemisah Logam Berat



Gambar 8.6 Pemisahan logam dari bijinya

Bakteri *Thiobacillus ferroxidans* dan *Thiobacillus oxidans* termasuk khemolitotrof, yaitu bakteri pemakan batuan yang tumbuh subur di tempat pertambangan, peranannya sangat penting karena dapat mengekstraksi berbagai jenis logam. Bakteri ini dapat memperoleh energinya dari oksidasi zat anorganik, yaitu besi dan belerang. Bakteri ini juga dapat tumbuh dengan subur dalam lingkungan tanpa adanya zat organik, dia mampu mengekstrak karbon secara langsung dari karbon dioksida di atmosfer. Pemanfaatan mikroorganisme ini untuk memisahkan logam dari bijih logam yang diterapkan di tambang logam karena logam tidak bisa dimanfaatkan jika terikat dengan bijihnya.

#### d. Penghasil Asam Amino

Pada makanan sering ditambahkan monosodium glutamat, yaitu sebagai penambah cita rasa. Tahukah Anda lebih dari 165.000 ton asam glutamat telah digunakan untuk pembuatan monosodium glutamat. Asam-asam amino itu antara lain lisin, lisin ini terdapat pada manusia, hanya tingkatnya rendah. Bakteri yang dapat menghasilkan asam amino adalah *Corinebacterium glutamicum* mampu untuk menghasilkan asam glutamat. Untuk itu mikroorganisme ini digunakan sebagai menjadi produk utama industri, yaitu penghasil asam amino.

#### e. Meningkatkan Produksi Pertanian

Apa manfaat dari bakteri *Rhizobium* pada tanaman polong? Coba ingat kembali! Bakteri ini mampu menambat nitrogen sehingga tanaman akan menjadi subur. Saat ini telah dikembangkan strain (galur) bakteri yang mampu menambat nitrogen secara efektif yang dinamakan legin. Legin dapat disimpan dan dibiarkan ke dalam medium untuk dijual. Caranya yaitu dengan menyebarkan di ladang dengan tujuan agar tanaman polong dapat bersimbiosis dengan bakteri ini.

Bakteri *Bacillus thuringiensis* telah dikembangkan karena kemampuannya untuk mematikan ulat yang menjadi hama tanaman, dengan cara menyemprotkan ke lahan pertanian. Hal ini merupakan cara pengendalian biologi atau hayati yang tidak menimbulkan pencemaran.

#### f. Penghasil Alkohol

Coba Anda amati produk dari etanol dan spirtus yang ada di pasaran saat ini. Jika Anda terkena spirtus, maka spirtus akan segera menguap karena mengandung alkohol. Tahukah Anda sebenarnya alkohol? Alkohol ini merupakan hasil fermentasi dari khamir, yaitu *Saccharomyces cereviceae*. Mikroorganisme tersebut dapat mengubah karbohidrat menjadi alkohol dan karbon dioksida.

Banyak sekali manfaat alkohol, di antaranya sebagai bahan bakar mesin karena mempunyai kelebihan mesin dapat menyala lebih lama, tidak menyebabkan polusi, dan tidak meningkatkan kadar karbondioksida di atmosfer.

Dengan kemajuan ilmu pengetahuan saat ini, manusia telah mampu mengembangkan teknologi reproduksi, yaitu dengan menggunakan alat dan prosedur dalam perkembangbiakan. Tujuan dari teknologi ini untuk mendapatkan dan meningkatkan mutu individu yang lebih baik sesuai dengan yang diharapkan. Apa saja kemajuan teknologi saat ini? Mari kita pelajari bersama!

## 1. Rekayasa Genetika

Masih ingatkah Anda tentang materi gen pada pelajaran yang lalu? Setiap makhluk hidup mempunyai gen. Gen merupakan penentu sifat yang terdapat di dalam kromosom. Apabila gen ini berubah, maka sifat dari makhluk hidup juga berubah, sehingga banyak ahli yang memanfaatkan untuk mengubah gen dengan tujuan mendapatkan organisme baru yang memiliki sifat sesuai yang dikehendaki. Proses pengubahan gen-gen ini disebut dengan nama *rekayasa genetika*. Ada beberapa macam rekayasa genetika di antaranya adalah rekombinasi DNA, fusi sel, dan transfer inti.

### a. Rekombinasi DNA

Hal yang mendasar dan sangat penting dalam makhluk hidup adalah jika terjadi proses reproduksi secara seksual yang normal, maka akan terjadi pemisahan dan penggabungan kembali molekul-molekul DNA dari kromosom. Teknik pemisahan dan penggabungan ini dijadikan oleh ilmuwan untuk lebih dikembangkan. Setiap jenis makhluk hidup mempunyai struktur DNA yang sama, untuk itulah DNA dari satu spesies dapat disambungkan dengan DNA dari spesies yang lain, dengan tujuan agar mendapatkan sifat yang baru. Proses penyambungan ini dikenal dengan nama *rekombinasi DNA*. Misalnya, telah ditemukannya gen seekor sapi yang berhasil dipindahkan ke dalam bakteri sehingga bakteri tersebut telah menerima gen asing yang tepat seperti gen aslinya. Gen ini akan mempunyai sifat-sifat dari sapi tersebut dan akan mempunyai sifat gen baru disebut **gen yang diklon**.

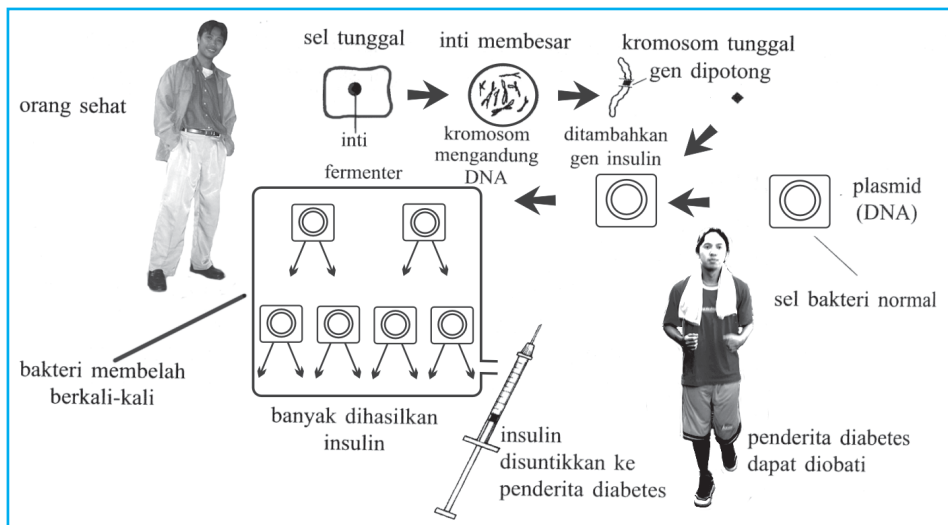
Rekayasa genetika dapat mengubah genotipe suatu organisme dengan cara mengenalkan gen-gen baru yang belum dimiliki oleh suatu spesies. Teknik menyambung gen ini telah berhasil dan sukses dalam menghasilkan gen baru. Para ahli menggunakan teknik rekayasa genetika dengan menggunakan mikroba-mikroba seperti bakteri untuk membuat substansi yang tidak dapat dibuat oleh organisme yang direkayasa. Tetapi pengenalan gen-gen dalam bakteri jauh lebih sulit, karena para ahli harus mendapatkan gen yang diinginkan kemudian menggabungkan ke dalam DNA dari bakteri.

Gen yang diinginkan ini akan dihubungkan menjadi suatu lingkaran DNA bakteri kecil yang disebut dengan *plasmid*. Kemudian plasmid ini siap untuk memasuki sel bakteri dan akan direplikasi bersama-sama DNA selnya sendiri. Dengan cara ini, maka semua gen plasmid dan sel-selnya seperti gen-gen aslinya. Selanjutnya, plasmid ini akan diteruskan dari satu sel ke sel lainnya dengan cara transformasi. Untuk menghubungkan gen-gen asing ke dalam plasmid memerlukan rekombinasi genetik. Berikut ini produk-produk yang telah berhasil dalam rekombinasi gen.

### 1) Pembuatan Insulin

Saat ini banyak sekali orang yang menderita penyakit kencing manis (diabetes mellitus). Penderita diabetes akan mengalami kekurangan hormon insulin. Para ilmuwan telah berhasil mengatasi penyakit ini dengan cara gen penghasil insulin manusia diambil dari DNA sel manusia, yaitu dengan memotong DNA sel manusia dengan menggunakan enzim pemotong. Gen yang menghasilkan insulin ini akan disambungkan pada plasmid bakteri *Escherichia coli*. Hasil sambungan ini kemudian dimasukkan ke dalam sel bakteri *Escherichia coli*, sehingga bakteri tersebut sudah mengandung gen insulin manusia.

Spesies ini dipelihara dalam tempat yang khusus untuk dikembangkan dengan tujuan agar dapat memproduksi insulin manusia. Selanjutnya, produk tersebut ditampung sebagai obat bagi penderita diabetes mellitus. Amatilah Gambar 8.7 agar lebih jelas!



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 8.7 Pembuatan insulin pada manusia

Rekombinasi gen dalam pembuatan insulin ini memiliki keunggulan, yaitu insulin yang dihasilkan lebih murni karena mengandung protein manusia sehingga insulin ini bisa diterima oleh tubuh manusia, biaya lebih murah dibandingkan dengan pembuatan insulin menggunakan gen pankreas hewan, prosesnya dapat dihentikan sampai kapan pun karena bakteri dapat disimpan sampai diperlukan lagi.

## 2) Pembuatan Vaksin Hepatitis

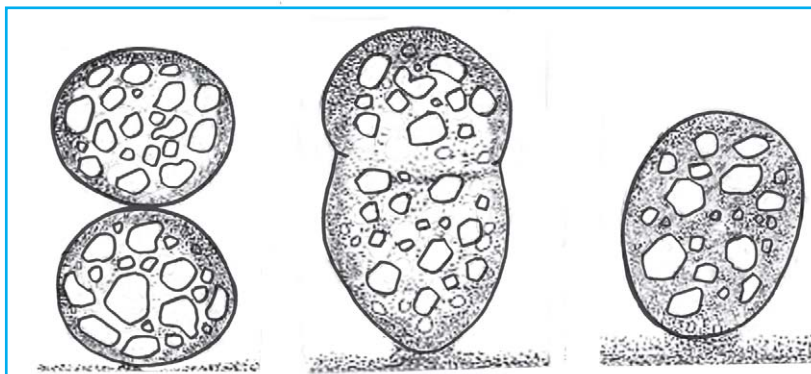
Saat ini vaksin hepatitis sudah tersedia, sehingga anak-anak maupun orang dewasa dianjurkan untuk melakukan vaksinasi hepatitis. Hepatitis merupakan penyakit hati yang disebabkan oleh virus, ingatlah kembali pelajaran tentang virus di kelas X. Virus terdiri atas selubung protein dan DNA-nya. Jika bagian selubung protein ini dimasukkan dalam tubuh manusia, maka tubuh akan membentuk antibodi sehingga tubuh dapat menangkap virus yang masuk.

Saat ini sudah berhasil diisolasi gen yang menghasilkan selubung protein tanpa menghasilkan DNA-nya. Caranya hampir sama dengan pembuatan insulin, yaitu gen tersebut dimasukkan ke dalam sel ragi *Saccharomyces* sehingga sel ragi ini akan menghasilkan protein virus yang tidak berbahaya bagi tubuh kita. Jika protein tersebut disuntikkan ke dalam tubuh, maka tubuh akan memproduksi antibodi, akibatnya orang yang disuntik akan kebal dari serangan virus hepatitis.

### b. Teknologi Hibridoma

Teknologi hibridoma dikenal dengan fusi sel, yaitu peleburan/fusi dua sel yang berbeda menjadi kesatuan tunggal yang mengandung gen-gen dari kedua sel asli.

Sel yang dihasilkan dari fusi ini dinamakan hibridoma (*hibrid* = sel asli yang dicampur, *oma* = kanker). Perhatikan Gambar 8.8!



Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 8.8 Fusi secara elektrik



Hibridoma ini sering digunakan untuk memperoleh antibodi dalam pemeriksaan kesehatan dan pengobatan. Apabila sel-sel sekali melebur menjadi satu, maka sel-sel ini akan menghasilkan protein yang sangat baik. Misalnya, antibodi monoklonal dapat digunakan untuk mendiagnosis penyakit, tes kehamilan, dan mengobati kanker.

Berikut ini contoh dari keberhasilan dari fusi sel.

### 1) Fusi Sel Manusia dengan Sel Tikus

Sel limfosit manusia mampu menghasilkan antibodi, tetapi jika dikultur dan dipelihara proses pembelahannya sangat lambat. Sel manusia tersebut difusikan dengan sel kanker tikus dengan tujuan dapat membelah dengan cepat karena sel tikus mengandung mieloma yang mempunyai kemampuan untuk membelah dengan cepat. Hibridoma yang terbentuk akan mendapatkan antibodi (sifat sel manusia) dan mampu untuk membelah dengan cepat (sifat sel kanker tikus).

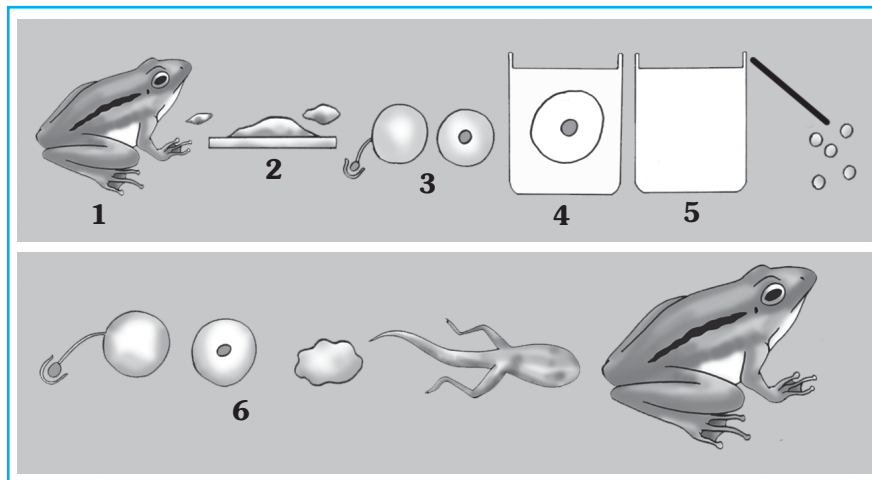
### 2) Fusi Sel Tomat dan Kentang

Fusi sel tumbuhan sering disebut dengan fusi protoplasma karena dalam fusi sel antartumbuhan ini dinding sel tumbuhan yang tersusun atas selulosa harus dihancurkan oleh enzim terlebih dahulu, maka tinggal protoplasma untuk difusikan. Misalnya, tanaman tomat, yaitu tanaman baru yang berbuah tomat dan berumbi kentang.

### c. Transfer Inti (Kloning)

Transfer inti merupakan proses pemindahan inti sel tubuh ke dalam sel telur tanpa inti, sehingga sel telur tersebut akan membelah diri dan menjadi embrio. Transfer inti sebenarnya adalah kloning inti. Transfer inti pertama kali dilakukan oleh **John Guardon** yang dicobakan pada katak. Pada mulanya ovum pada katak dirusak intinya dengan radiasi, kemudian dimasukkan sel inti tubuh lainnya, yaitu sel somatik usus katak lainnya, maka akan tumbuh zigot baru dan akan tumbuh menjadi katak. Proses ini merupakan reproduksi paraseksual karena bukan merupakan reproduksi seksual dan aseksual.





Sumber: Ilustrasi Bayu dan Haryana

Gambar 8.9 Kloning seekor katak

Keterangan:

1. Sepotong jaringan kulit diambil dari seekor katak.
2. Sel-sel jaringan itu dibiakkan.
3. Inti salah satu itu ditransplantasikan ke sel telur penerima (inti sel telur ini sudah dikeluarkan).
4. Telur itu berkembang menjadi embrio.
5. Sel-sel embrio dipisah-pisahkan.
6. Inti sebuah sel embrio ditransplantasikan ke dalam sel telur penerima lainnya. Telur itu berkembang menjadi suatu klon katak semula.

Keberhasilan transfer inti adalah dilakukannya kloning domba 'Dolly'. Inti sel tubuh yang diambil dari jaringan kelenjar susu domba bermuka putih, sedangkan ovumnya diambilkan dari domba betina yang bermuka hitam yang intinya telah rusak sehingga menjadi ovum tak berinti. Selanjutnya, inti sel tubuh domba muka putih dimasukkan ke dalam ovum domba muka hitam dan dipelihara sampai mencapai tahap blastula, kemudian dimasukkan ke dalam uterus domba bermuka hitam, dan hasilnya akan lahir domba Dolly.

Bagaimana dengan kloning pada tumbuhan? Secara tidak sengaja kita sebenarnya sudah melakukan kloning pada tumbuhan, yaitu saat mencangkok, menyetek, tetapi hasilnya tidak banyak menghasilkan individu baru.



Sumber: Biologi Campbell, 2002

Gambar 8.10 Dolly domba hasil kloning

## 2. Bayi Tabung

Teknik fertilisasi bayi tabung dilakukan secara *invitro*, yaitu suatu proses pembuahan yang secara sengaja dilakukan di luar tubuh manusia. Teknik ini prosesnya hampir sama dengan fertilisasi secara eksternal, masih ingatkah Anda dengan sistem ini? Pada mulanya sel-sel telur yang mutunya baik dari ibu diseleksi, demikian juga sperma dari ayah. Kemudian dipertemukan dalam cawan petri yang sudah diberi nutrisi yang keadaan lingkungannya disesuaikan dalam rahim, kemudian sperma akan membuahi sel telur dan terbentuk zigot. Setelah berumur 2-5 hari embrio ditanam di dalam rahim kemudian tumbuh dan akan lahir. Teknik ini sudah dilakukan dan berhasil di Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sarjito Yogyakarta dengan mengembangkan bayi tabung kembar tiga, yaitu satu laki-laki dan dua perempuan yang lahir dengan bedah caesar pada tanggal 10 Februari 1998.

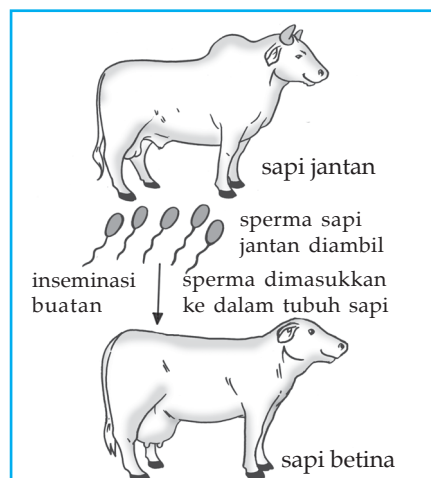
### TUGAS INDIVIDU

Peristiwa ditemukannya sistem bayi tabung ini menimbulkan banyak pro dan kontra di dalam masyarakat. Cobalah Anda cari pemecahan permasalahan dari kedua pendapat tersebut! Bagaimana dengan tanggapan Anda sendiri?

## 3. Teknik Hibridisasi atau Kawin Suntik/Inseminasi Buatan

Teknik hibridisasi atau pembastaran merupakan perkawinan silang untuk memperoleh bibit yang unggul. Umumnya dilakukan pada hewan sapi. Bagaimana cara yang dilakukan dalam teknik kawin suntik ini? Pada prinsipnya, caranya dilakukan dengan mengambil sperma atau semen dari hewan yang memiliki bibit unggul untuk disuntikkan ke dalam alat kelamin hewan betina. Tujuannya untuk mendapatkan keturunan dengan perpaduan sifat-sifat dari induknya yang lebih baik.

Teknik inseminasi ini harus mengetahui masa kawin hewan. Pada saat sapi jantan akan mengawini sapi betina, terlebih dahulu spermanya



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 8.11 : Inseminasi buatan pada sapi perah

ditampung, kemudian dimasukkan ke dalam alat inseminasi buatan untuk disuntikkan ke dalam alat kelamin betina yang akan dikawinkan. Sebelum alat tersebut dimasukkan anus dan usus besar, sapi dibersihkan dari kotoran, dan orang yang akan melakukannya mencuci tangannya dan menggunakan sarung tangan, selanjutnya tangan dimasukkan ke dalam anus untuk meraba kedudukan rahim agar posisi alat tersebut dapat dimasukkan dengan tepat.

Setelah itu alat inseminasi dimasukkan lewat vagina sapi betina sampai alat tersebut jika dilepas tidak jatuh, apabila jatuh berarti posisinya tidak benar dan harus diulang. Setelah posisinya tepat perlahan-lahan sperma disuntikkan. Apa keuntungan dari kawin suntik ini? Coba Anda pikirkan!

#### 4. Perkawinan Silang

Ingat kembali pelajaran sebelumnya tentang pewarisan sifat! Perkawinan silang atau disebut pembastaran (*hibridisasi*) adalah perkawinan antara dua individu yang berbeda sifat tetapi masih dalam satu spesies. Bibit yang akan disilangkan adalah bibit yang mempunyai sifat-sifat paling baik pada tanaman sejenis.

Misalnya, antara padi A (sifat berumur pendek, berbulir sedikit) disilangkan dengan padi B (sifat berumur panjang, berbulir banyak), maka akan menghasilkan padi jenis C dengan salah satu sifat sebagai berikut.

- 1) berumur pendek dan berbulir banyak,
- 2) berumur panjang dan berbulir sedikit,
- 3) berumur pendek dan berbulir sedikit,
- 4) berumur panjang dan berbulir banyak.

Di antara ke-4 sifat tersebut sifat yang paling unggul adalah berumur pendek dan berbulir banyak, maka tanaman inilah yang akan dijadikan sebagai bibit unggul. Carilah informasi tentang jenis padi apa saja dan sudah diteliti yang memiliki bibit unggul!

## F BIOTEKNOLOGI DENGAN MENGGUNAKAN JARINGAN TUMBUHAN

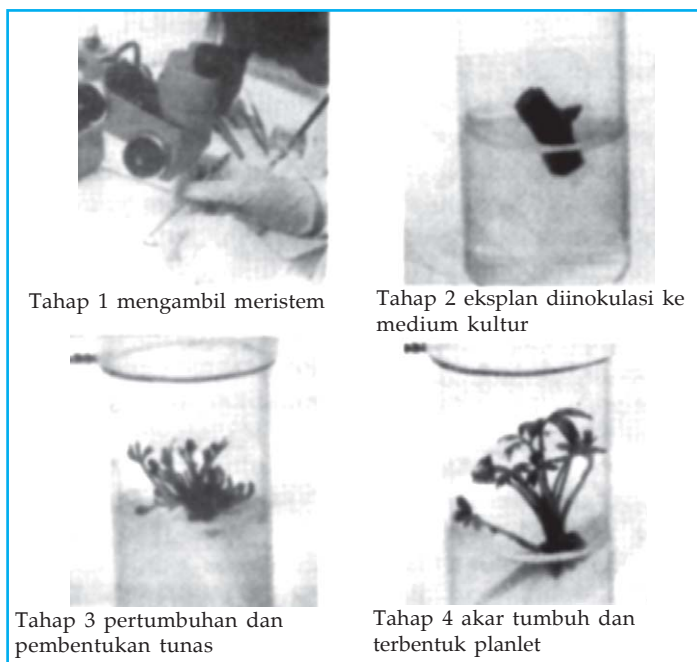
Anda telah mengetahui manfaat mikroba untuk peningkatan produksi pangan dan penyediaan bibit unggul. Pernahkah Anda berpikir bagaimana cara memperoleh organisme dengan sifat unggul dalam jumlah yang besar dan dalam waktu singkat?

Atas dasar teori dari **Schleiden** dan **Schwann** yang menyatakan bahwa tiap-tiap sel mampu tumbuh menjadi tanaman baru, maka diperoleh kemampuan ini yang disebut **totipotensi** dari sel. Dengan teori tersebut banyak dikembangkan tanaman baru yang berasal dari jaringan tumbuhan tertentu. Reproduksi tanaman dengan menggunakan jaringan tertentu tersebut disebut dengan kultur jaringan (*tissue culture*). Teknik ini dipopulerkan oleh **Muer**, **Haberlant**, dan **Riker** pada tahun 1954.

Kultur jaringan telah banyak diterapkan dalam bidang pertanian dan perkebunan dalam skala besar untuk mendapatkan bibit unggul dalam waktu yang singkat. Kultur jaringan dilakukan di dalam laboratorium dengan cara menumbuhkan sel atau jaringan tumbuhan/hewan di dalam medium buatan. Teknik ini mudah diterapkan pada tumbuhan dibandingkan dengan hewan. Hal tersebut dikarenakan sel tumbuhan memiliki sifat totipotensi yang tinggi dibandingkan dengan sel hewan. Dalam kultur jaringan ini hanya diperlukan sedikit bagian dari tumbuhan atau hewan, misalnya tunas, akar, atau daun. Bagian tersebut dibagi-bagi lagi dan setiap bagian ditumbuhkan dalam medium tertentu dan kondisi steril di laboratorium. Hasilnya nanti adalah organisme dalam jumlah besar dan mempunyai sifat yang sama dengan induknya.

Apa tujuan dan manfaat dari kultur jaringan?

1. Kultur jaringan dapat memperbanyak tanaman dengan sifat seperti induknya, pembiakan ini termasuk pembiakan secara vegetatif, yaitu individu baru terjadi dari bagian tubuh suatu induk. Oleh karena itu, individu yang baru terbentuk mempunyai sifat yang sama dengan induknya.
2. Perbanyak tanaman dengan teknik ini membuat tanaman bebas dari penyakit karena dilakukan secara aseptik.
3. Penggunaan metode ini sangat ekonomis dan komersial karena bahan tanaman awal yang diperlukan hanya sedikit atau satu bagian kecil yang menghasilkan turunan dalam jumlah besar, sehingga penyediaan bibit dalam jumlah yang besar tidak memerlukan banyak tanaman induk.



Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer, 1999

Gambar 8.12: Skema pembiakan dengan kultur jaringan.

Bagaimana cara memilih jaringan yang baik? Bahan yang diperlukan dalam perbanyakan tanaman dengan teknik ini bukan sembarang jaringan, melainkan jaringan yang diperkirakan dapat tumbuh dan berkembang menjadi tanaman baru. Bagian dari bahan tanaman yang diambil sekecil mungkin untuk langsung dibuat kultur jaringan disebut *eksplan*, yang harus memenuhi syarat berikut.

1. Jaringan tersebut sedang aktif pertumbuhannya, diharapkan pada jaringan tersebut masih terdapat zat tumbuh yang masih aktif sehingga membantu perkembangan jaringan selanjutnya.
2. Eksplan yang diambil berasal dari bagian daun, akar, mata tunas, kuncup, ujung batang dan umbi yang dijaga kesterilannya. Apabila perlu dapat diambil dari bagian yang masih terlindung secara alamiah seperti tertutup rapat oleh sisik, daun pelindung, dan sebagainya.
3. Eksplan yang diambil dari bagian yang masih muda (bila ditusuk pisau akan terasa lunak sekali).

Bagaimana cara mengembangbiakkan tanaman dengan kultur jaringan? Caranya seperti berikut.

1. Menyiapkan media tumbuh/persemaian jaringan berbentuk alas makanan yang bisa terbuat dari bahan agar-agar atau buah pisang, pembuatannya dengan cara berikut.
  - a. Pisang ambon yang telah dimasak diblender hingga lumat, kemudian dicampur dengan *vacin and went* yang terdiri atas komposisi: Tricalcium-phospat (0.20 g), potasium phospat (0.525 g), mono-potasium phospat (0.25 g), magnesium sulfat (0.25 g), amonium sulfat (0.50 g), ferri tartrat (0.028 g), mangan sulfat (0.075 g), gula (20 g), agar-agar (8 g), air (850 cc) dan air kelapa (150 g). Untuk media cair ditambahkan akuades, sedangkan media padat dicampur dengan agar-agar.
  - b. Media tersebut disiapkan dalam keadaan steril dengan menggunakan mesin autoklaf dan diletakkan dalam botol/cawan petri sebagai tempat menaburkan eksplan steril yang telah disiapkan sebagai persemaian.
2. Menyiapkan jaringan/eksplan yaitu pada ujung tunas yang muda seperti ujung akar atau ujung batang dipotong-potong dengan menggunakan pisau yang steril sebesar 1-1,5 mm, kemudian potongan tersebut disterilkan dengan hipoklorit 5 % kemudian dibilas dengan akuades steril.
3. Eksplan tersebut ditanam pada media persemaian yaitu media cair yang telah disiapkan, kemudian diletakkan di meja pengocok (*shaker*) yang selalu bergoyang, dilakukan selama 6 jam sehari selama 1,5 – 2 bulan dengan tujuan agar proses penyerapan zat dan penyebaran makanan merata, menjamin pertukaran udara yang lebih cepat.

4. Setelah 2 bulan maka akan tumbuh tonjolan (kalus), kalus ini kemudian dipindahkan ke media padat agar tumbuh menjadi tumbuhan kecil (plantlet). Kemudian disimpan di tempat yang suhu, kelembapan dan cahayanya dapat diatur sesuai dengan kebutuhannya.
5. Setelah calon akar dan daun tumbuh, kemudian dipindahkan ke media padat lain untuk dipisah-pisahkan agar tidak terlalu rapat sehingga menjadi tanaman yang lebih besar.
6. Tanaman yang telah tumbuh sempurna kemudian dapat dipindahkan ke pot baru dengan media tanah yang sudah diberi pupuk, jika sudah baik dan kuat dapat dipindahkan ke lahan.

Untuk mempraktikkan kultur jaringan sederhana pada tumbuhan, kita melakukan kegiatan kelompok berikut!

## KEGIATAN KELOMPOK 2

<b>Tujuan</b>	: Mengembangkan tanaman dengan teknik kultur jaringan
<b>Alat dan Bahan</b>	: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tanaman hias kecil misalnya anggrek</li> <li>2. Kentang</li> <li>3. Gelas beaker</li> <li>4. Alkohol 70%</li> <li>5. Dua buah cawan petri</li> <li>6. Air</li> <li>7. Tiga buah tabung reaksi</li> <li>8. Kapas</li> <li>9. Rak tabung reaksi</li> <li>10. Pisau</li> <li>11. Bolpoin</li> </ol>

### Cara Kerja:

1. Isilah tabung reaksi dan gelas beaker dengan air hingga hampir penuh. Kemudian isilah cawan petri sampai setengah penuh. Beri nomor, nama, dan tanggal pada setiap wadah.
2. Sterilkan pisau yang akan Anda gunakan dengan menggunakan alkohol atau direbus terlebih dahulu, kemudian potong-potonglah kentang menjadi tiga bagian atas, tengah dan bawah, kemudian letakkan kentang yang sudah dipotong-potong pada cawan petri yang sesuai. Letakkan bagian bawah pada gelas beaker.

3. Dengan pisau yang steril, potonglah tanaman anggrek menjadi tiga bagian (pucuk, tengah, akar). Buanglah daun bagian bawah dan akar-akar sekunder bagian atas. Letakkan dalam tabung reaksi dan gunakan kapas untuk mengatur posisinya.
4. Setelah selesai, letakkan tabung reaksi dan cawan petri itu pada tempat yang terang dan hangat (jangan terlalu panas) dan jagalah jangan sampai airnya kering. Amatilah pertumbuhannya sampai sempurna dan waktu yang digunakannya. Tuliskan hasil pengamatan Anda pada tabel berikut! Salinlah tabel itu pada buku tugas Anda!

Nomor Wadah	Bagian Tanaman	Keadaan Tanaman setelah Tumbuh	Wadah yang digunakan
1.	Kentang atas		
2.	Kentang tengah		
3.	Kentang bawah		
4.	Pucuk anggrek		
5.	Tengah anggrek		
6.	Akar anggrek		

Pertanyaan untuk diskusikan!

1. Mengapa pisau harus disterilkan?
2. Di antara wadah nomor 1-3 tersebut, bagian tanaman manakah yang paling baik tumbuh, mengapa? Berapa lama waktu yang digunakan?
3. Di antara wadah nomor 4-6, bagian tanaman manakah yang paling baik tumbuh, mengapa? Berapa lama waktu digunakan?
4. Dari ke-6 wadah tersebut, bagian tanaman manakah yang paling baik tumbuh, mengapa? Berapa lamakah waktu yang digunakan untuk tumbuh sempurna?
5. Tuliskan hasilnya pada buku tugas Anda dan bandingkan hasilnya dengan kelompok yang lain!
6. Kesimpulan apa yang Anda peroleh dari kegiatan tersebut?



Pada umumnya bioteknologi pertanian berupa budidaya tanaman yang menghasilkan makanan. Bioteknologi pertanian dikembangkan dengan cara-cara berikut.

## 1. Hidroponik

Semakin sempitnya lahan pertanian, mendorong akal pikiran manusia untuk mendapatkan cara bercocok tanam yang tidak memerlukan tanah sebagai medianya. Cara bercocok tanam ini dinamakan *hidroponik*. Pada mulanya teknik hidroponik diperkenalkan oleh **W.E. Gericke** dari Universitas California Amerika pada tahun 1929 yang berhasil menggunakan media air sebagai pengganti tanah untuk bercocok tanam.

Selain air sebagai media tanam, dapat juga digunakan genting, pasir, kerikil, kertas dan lain-lain, yang disiram dengan larutan nutrisi yang diperlukan tanaman. Bagaimana hasil pengamatan Anda setelah melihat penanaman hidroponik?

Makanan atau nutrisi tumbuhan hidroponik diperoleh dari zat anorganik yang dialirkan melalui pipa air. Tanaman dapat juga ditempatkan di atas bak penampung nutrisi sehingga akar tanaman dapat menyerap nutrisi dari bak. Jadi, akar akan selalu terendam cairan nutrisi.

Keuntungan apa saja yang diperoleh dari penanaman secara hidroponik?

- a. Sistem hidroponik lebih praktis dan produktif karena memanfaatkan ruangan yang sempit (bukan kebun) atau untuk menyiasati daerah atau tempat yang tidak dapat ditanami. Cara menanam dengan sistem ini dapat dilakukan di mana pun dan akan diperoleh tanaman yang sebanyak-banyaknya, serta tidak bergantung pada musim karena dikelola secara khusus.
- b. Penggunaan pupuk lebih efektif dan berdaya guna, yaitu dapat dilakukan secara tepat dan tidak boros karena pada bercocok tanam di lahan pertanian biasa, tanah sering merembeskan sebagian dari pupuk yang diberikan ke tempat lain menjauhi tanaman sehingga perhitungan pemberian pupuk bisa meleset.
- c. Bebas dari serangan hama dan penyakit yang berasal dari tanah, termasuk gulma di dalam tanah.
- d. Mutu buah dan tanaman yang dihasilkan lebih baik.

Bagaimana cara pelaksanaan sistem dengan hidroponik?

- a. Penanaman teknik hidroponik dapat dilakukan di dalam pot-pot dengan media pasir, bata merah yang dihaluskan dan steril atau arang sekam.



- b. Bibit tanaman diambil dari tempat pembibitan di kebun biasa, tanah yang melekat pada tanaman tersebut dibuang dengan hati-hati agar tidak sampai merusak dan melukai akar-akarnya. Kemudian akar tersebut dicuci dengan air pada suatu bak sampai benar-benar bersih.
- c. Bibit tersebut siap ditanam di dalam pot hidroponik yang telah disiapkan dengan ditimbuni pasir atau kerikil-kerikil kecil sampai setinggi pangkal akar tanaman tersebut. Pasir atau kerikil tersebut perlu dijaga kelembabannya terus-menerus dengan jalan disemprot dengan air biasa. Sebaiknya jangan diberi pupuk terdahulu agar keadaan akar menjadi segar kembali karena untuk menjaga akar yang terluka.
- d. Penyemprotan dilakukan terus-menerus dengan air biasa agar tetap lembap selama 2-3 minggu.
- e. Selanjutnya tanaman disiram dengan larutan yang mengandung pupuk, penyiraman dengan air biasa tetap dilakukan untuk menjaga kelembapan pasir atau kerikil dan kira-kira seminggu sekali perlu ditambahkan larutan mineral yang mengandung pupuk anorganik.
- f. Tempat penanaman dapat digunakan pot hidroponik atau dalam bentuk kantong-kantong plastik. Sistem pengairannya dapat menggunakan pipa plastik atau pipa pralon berlubang yang dipasang di atas deretan tanaman. Dapat juga langsung disiramkan pada tanaman dalam pot hidroponik dengan periode waktu tertentu.
- g. Untuk menjaga kesterilan kebun hidroponik dari serangan hama atau penyakit dari luar, sebaiknya ditutup dengan plastik dibentuk seperti rumah kaca.

Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui berbagai media penanaman hidroponik!

### KEGIATAN KELOMPOK 3

**Tujuan** : mempraktikkan cara penanaman hidroponik

**Alat dan Bahan** :

1. Sebuah ember ukuran sedang
2. 3 pot berukuran sama
3. Pasir, tanah, dan kerikil
4. Larutan pupuk organik dan wadahnya
5. Bibit tanaman cabe

**Cara Kerja** :

1. Siapkan 3 pot plastik yang masing-masing diisi dengan pasir (A), kerikil (B), dan tanah (C).

2. Siapkan 3 bibit tanaman cabai kemudian tanamlah pada ketiga pot tersebut.
3. Siapkan 3 wadah larutan pupuk organik masing-masing 1 liter dengan dosis yang sama, satu wadah pot (B) dimasukkan ke dalam ember yang berisi larutan pupuk organik hingga akarnya terendam.
4. Siramkan larutan pupuk organik ke dalam media pot A dan pot C.
5. Lakukan penyemprotan kembali seperti nomor 4 dua kali dalam seminggu selama 4 minggu. Dan amatilah kesuburan tanaman tersebut.

**Pertanyaan untuk didiskusikan:**

1. Di antara ketiga pot tersebut, manakah yang pertumbuhannya paling baik dan mengapa?
2. Apa perbedaan pertumbuhan dari ketiga tanaman tersebut?
3. Berikanlah kesimpulan dari kegiatan tersebut!

Cara bercocok tanam aeroponik sama seperti sistem hidroponik, perbedaannya di dalam aeroponik tanaman tidak diberi media untuk tumbuhnya akar, melainkan dibiarkan terbuka, menggantung pada suatu tempat yang dijaga kelembapannya. Akar dan tubuh tanaman disemprot dengan larutan pupuk yang mengandung nutrisi. Bagaimana cara tanaman aeroponik memperoleh makanannya? Apakah keuntungan dari aeroponik ini? Coba Anda pikirkan!

## 2. Penggunaan Teknologi Nuklir

Teknologi nuklir ternyata tidak hanya digunakan untuk urusan militer saja. Teknologi nuklir merupakan teknologi yang berkaitan dengan penggunaan unsur-unsur radioaktif yang dapat memancarkan sinar radioaktif, antara lain sinar gama ( $\gamma$ ), sinar alfa ( $\alpha$ ) dan sinar beta ( $\beta$ ). Jika penggunaan sinar ini tidak terkendali maka sangat berbahaya, tetapi apabila penggunaannya dalam dosis yang rendah sinar tersebut dapat dimanfaatkan, antara lain berguna di bidang kedokteran, pengawetan bahan pangan, bidang pertanian.

Manfaat dari radioaktif terutama sinar gama ( $\gamma$ ) dapat dimanfaatkan dalam hal pemuliaan tanaman, yaitu dengan meradiasi sel atau jaringan sehingga akan terjadi *mutasi* yaitu terjadinya perubahan jumlah kromosom atau gen yang terdapat dalam inti sel, sedangkan gen itu merupakan faktor pembawa sifat keturunan, sehingga jika terjadi mutasi maka akan terjadi perubahan sifat keturunan dengan tujuan agar menghasilkan atau memiliki

keturunan dengan bibit unggul. Hal tersebut sudah dilakukan di BATAN (Badan Tenaga Atom Nasional), hasilnya adalah padi Atomita I sampai Atomita IV yang merupakan varietas hasil dari mutasi radiasi terhadap padi Pelita I dan Pelita II. Jenis tanaman lain yang merupakan hasil mutasi radiasi adalah kedelai varietas Muria dan Meratus.

Hasil dari mutasi yang sering dinamakan *mutan*, ternyata memiliki beberapa keuntungan di antaranya cocok ditanam di persawahan pasang surut yang memiliki kadar garam cukup tinggi, bersifat tetap sampai pada keturunan selanjutnya tanpa perubahan ke sifat induk semula, tahan wereng cokelat dan hijau, tahan penyakit busuk daun, umur lebih pendek, dapat ditanam pada musim kemarau dalam waktu lebih singkat, hasil panennya lebih banyak. Tanaman hasil mutasi ini bersifat *poliploidi* (jumlah kromosomnya berkelipatan dari kromosom normal) sehingga dapat memberikan hasil yang lebih tinggi, misalnya cepat berbuah, buahnya lebih besar, dan tidak berbiji.

### 3. Seleksi Fenotipe

Seleksi fenotipe adalah memilih sifat suatu makhluk sesuai dengan sifat unggul yang sesuai diinginkan manusia. Misalnya untuk tanaman pangan maka yang dipilih adalah yang berproduksi tinggi, enak rasanya, dan tahan penyakit.

Sebenarnya seleksi fenotipe ini sudah lama dilaksanakan, contoh ketika petani akan menanam biji kacang tanah, mereka memilih biji kacang tanah yang besar dan tidak keriput, dengan harapan agar hasilnya yang diperoleh sama sifatnya pada biji tersebut.

#### • TUGAS KELOMPOK

Setelah Anda mengetahui perkembangan bioteknologi pada saat ini, cobalah cari artikel-artikel mengenai bioteknologi. Buatlah kliping tentang artikel tersebut kemudian tulislah komentar Anda dalam hal segi positif dan negatif. Buatlah kesimpulan kemudian presentasikan hasilnya di depan kelas.

## H DAMPAK BIOTEKNOLOGI BAGI KEHIDUPAN

Perkembangan bioteknologi saat ini sangat berkembang dan dapat membantu, serta bermanfaat bagi kehidupan manusia. Dampak positif dari bioteknologi adalah dapat mengatasi kekurangan bahan makanan karena dapat diproduksi secara cepat dan efisien tempat untuk proses pembuatannya, misalnya protein sel tunggal, dapat menghasilkan obat-obatan, antibodi, hormon insulin sehingga dapat membantu kesehatan tubuh manusia, dapat membantu mengatasi pencemaran lingkungan, dan menyediakan energi misalnya biogas. Jika manusia kesulitan dalam memperoleh keturunan dapat diatasi dengan adanya bayi tabung.

Selain menguntungkan perkembangan bioteknologi juga menimbulkan dampak negatif misalnya adanya penemuan bayi tabung dan kloning yang menimbulkan pro dan kontra masyarakat. Ada juga kekhawatiran manusia sendiri dengan keterampilan merekayasa genetika dapat dimanfaatkan untuk kejahatan, misalnya mengubah gen bakteri menjadi ganas yang digunakan sebagai senjata biologi. Dengan munculnya tumbuhan dan hewan transgenik dikhawatirkan akan mempengaruhi keseimbangan lingkungan, sulit dikendalikan, bahkan dapat membahayakan keselamatan manusia itu sendiri.

Sampai saat ini manusia terus menerus menggali dan mengkaji rahasia alam yang belum terungkap. Perkembangan bioteknologi telah banyak memberikan sumbangan baik bagi sains, teknologi, lingkungan, dan masyarakat.

## RANGKUMAN

1. *Bioteknologi* adalah pemanfaatan prinsip-prinsip ilmiah dengan menggunakan makhluk hidup untuk menghasilkan produk untuk kepentingan manusia.
2. Bioteknologi dibedakan menjadi dua yaitu secara tradisional atau konvensional dan secara modern.
3. Bioteknologi tradisional merupakan bioteknologi yang memanfaatkan mikroba, proses kimia, dan proses genetika secara alami. Dilakukannya berdasarkan pengalaman yang sebenarnya sudah mengandung prinsip-prinsip ilmiah. Produk tersebut dilakukan berdasarkan pengalaman dan diwariskan secara turun temurun, tanpa memahami organisme yang berproses dan reaksinya yang

timbul. Bioteknologi tradisional ini biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan umumnya belum dapat diproduksi secara massal.

4. Pelaksanaan bioteknologi secara modern. *Bioteknologi modern* ditandai dengan ditemukannya struktur DNA. Bioteknologi modern adalah bioteknologi berdasarkan manipulasi atau rekayasa DNA, yang dilakukan dengan memodifikasi gen-gen spesifik dan memindahkan pada organik yang berbeda seperti bakteri, tumbuhan, dan hewan. Bioteknologi modern ini tidak bisa lepas dari ilmu lain misalnya ilmu biokimia, genetika, biologi molekuler, fisika, mikrobiologi, dan biologi sel.
5. Pada dasarnya bioteknologi mempunyai komponen-komponen yaitu adanya bahan yang akan diproses, organisme yang melakukan proses, prinsip-prinsip ilmiah dalam proses, dan hasilnya berupa produk.
6. Beberapa contoh dari bioteknologi tradisional, yaitu pembuatan tempe, tape, kecap, yoghurt, dan antibiotik penisilin.
7. Beberapa contoh dari bioteknologi modern adalah rekombinasi DNA, fusi sel, teknik hibridoma, transfer inti, kloning, bayi tabung, inseminasi buatan, kultur jaringan, seleksi fenotipe, hidroponik, penghasil asam amino, penghasil alkohol, pemisah logam dari bijihnya, gas bio, pencernaan limbah, pemisah logam berat, dan penggunaan teknologi nuklir.
8. Perkembangan bioteknologi memberikan dampak positif dan negatif.

**I. Pilihlah jawaban yang benar!**

1. Berikut ini komponen-komponen yang terdapat pada proses pemanfaatan makhluk hidup/rekayasa organisme untuk menghasilkan suatu produk yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, *kecuali* ....
  - a. bahan/organik
  - b. organisme melakukan proses
  - c. hasil/produk
  - d. prinsip-prinsip ilmiah
  - e. ilmu pengetahuan
2. Kegiatan berikut yang bukan termasuk dalam bioteknologi adalah ....
  - a. modifikasi gen spesifik
  - b. rekombinan genetik
  - c. proses genetik
  - d. penangkaran ternak
  - e. proses biokimia
3. Hasil kegiatan dari bioteknologi modern antara lain seperti berikut, *kecuali* ....
  - a. manipulasi vaksin
  - b. hormon somatotropin
  - c. antibiotik
  - d. splitting
  - e. radiasi seleksi biji
4. Oncom adalah makanan khas dari daerah Jawa Barat, makanan ini terbuat dari ampas kedelai dengan menggunakan jamur ....
  - a. *Saccharomyces cereviceae*
  - b. *Aspergillus wentii*
  - c. *Endomycopsis fibuligera*
  - d. *Neurospora sitophila*
  - e. *Rhizopus oryzae*
5. Minuman yoghurt yang terbuat dari air susu dapat mengobati lambung dan usus yang terluka, proses pembuatan yoghurt tersebut karena hasil kerja dari ....
  - a. *Rizhopus oryzae*
  - b. *Streptococcus thermophilus*
  - c. *Neurospora sitophila*
  - d. *Aspergillus wentii*
  - e. *Endomycopsis fibuliger*

6. Pernyataan berikut ini merupakan kekurangan dari protein sel tunggal (PST), *kecuali* ....
- kandungan proteinnya tinggi
  - kandungan asam nukleatnya tinggi
  - menimbulkan asam urat
  - selulosa mudah dicerna
  - dapat digunakan untuk makanan ternak
7. Salah satu keberhasilan rekayasa genetika, adalah kemampuan plasmid yang prinsipnya berperan sebagai ....
- penerjemah kode genetik
  - pembentuk protein antibodi
  - pembawa gen asing ke dalam sel bakteri
  - penyambung gen asing yang dicangkokkan ke bakteri
  - penghasil metabolit silinder di dalam sel
8. Perhatikan pernyataan-pernyataan di bawah ini!
- (1) hilangnya patogenitas
  - (2) hilangnya antigenetik
  - (3) diberikan pada orang sehat
  - (4) menimbulkan kekebalan alami
  - (5) bibit penyakit yang dilemahkan
- Pernyataan yang benar untuk vaksin adalah ....
- 1, 3, dan 5
  - 1, 2, dan 3
  - 1, 4, dan 5
  - 2, 3, dan 4
  - 3, 4, dan 5
9. Kloning sampai saat ini masih merupakan kontroversi antara bencana dan keberhasilan dalam bidang bioteknologi. Kloning manusia adalah rekayasa genetika yang dilakukan pada tingkat ....
- sel
  - jaringan
  - organ
  - sistem organ
  - organisme

10. Teknik kultur jaringan dapat digunakan untuk memperoleh tanaman dengan jauh lebih banyak dengan sifat-sifat yang sama. Jaringan yang sel-sel penyusunnya dapat memiliki daya totipotensi yang paling tinggi adalah ....
- a. empulur
  - b. korteks
  - c. mesofil
  - d. meristem
  - e. parenkim

## **II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Apa yang dimaksud dengan bioteknologi? Berikanlah dua contoh produk hasil bioteknologi!
2. Jelaskan perbedaan bioteknologi tradisional dan modern!
3. Jelaskan keuntungan padi hasil teknologi radiasi!
4. Apa yang dimaksud dengan inseminasi? Berikan contohnya!
5. Apa yang Anda ketahui dengan rekombinasi DNA? Berilah contohnya!
6. Apa yang Anda ketahui dengan kloning? Berilah contohnya!
7. Dalam pembuatan tape, mengapa umbi ketela pohon terasa manis? Jelaskan!
8. Mikroba apa yang berperan dalam pembuatan tempe, kecap, yoghurt, asinan, dan keju?
9. Apa yang dimaksud dengan protein sel tunggal? Jelaskan dan berikan contohnya!
10. Apa yang dimaksud dengan hidroponik? Sebutkan manfaatnya!



**Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!**

1. Buatlah skema pembuatan kultur jaringan dan berilah keterangan dengan jelas!
2. Bagaimana cara pembuatan gas bio? Gambarkan skemanya!
3. Berilah beberapa contoh manfaat bioteknologi di dalam berbagai bidang disertai mikroorganisme yang berperan!

## ULANGAN BLOK 2

### I. Pilihlah jawaban yang paling benar!

1. Adanya beberapa organisme yang mengalami kepunahan dalam evolusi menurut Darwin menunjukkan bahwa organisme tersebut ....
  - a. anggota populasinya sedikit
  - b. fertilisasinya rendah
  - c. viabilitas rendah
  - d. tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya
  - e. tidak ada rekomendasi
2. Yang dimaksud dengan fosil adalah ....
  - a. sisa hewan dan tumbuhan yang hidup di masa lampau
  - b. hewan yang mengalami evolusi terdapat dalam batu-batuan
  - c. sisa makhluk hidup yang mengalami pelapukan
  - d. sisa hewan dan tumbuhan yang telah membatu atau jejak pada batuan
  - e. semua makhluk hidup dan benda-benda yang membatu
3. Fosil manusia purba yang pernah ditemukan di Pulau Jawa adalah ...
  - a. Sinathropus
  - b. Australopithecus
  - c. Homosapiens
  - d. Pithecanthropus
  - e. Ramapithecus
4. Berikut ini merupakan petunjuk-petunjuk tentang adanya evolusi, *kecuali* ....
  - a. homologi
  - b. fosil
  - c. vestigial
  - d. embriologi
  - e. domestikasi

5. Sejak revolusi industri di Inggris berkembang maka perkembangan populasi kupu-kupu dari spesies *Biston betularia* yang berwarna gelap lebih banyak daripada yang berwarna cerah, sebab ....
  - a. Biston gelap tetap dapat beradaptasi
  - b. Biston berwarna cerah menang dalam bersaing
  - c. Biston berwarna gelap menang dalam bersaing
  - d. Biston berwarna cerah sebagian besar meninggalkan daerah industri
  - e. Biston berwarna cerah dibunuh oleh biston yang berwarna gelap
6. Penerapan teknologi rekayasa genetika pada manusia pertama kali dilakukan pada penderita penyakit ....
  - a. malaria
  - b. asma
  - c. ginjal
  - d. diabetes
  - e. jantung
7. Termasuk ke dalam lingkup bioteknologi bahan bakar dan limbah adalah ....
  - a. biogas
  - b. batubara
  - c. lumpur aktif
  - d. minyak
  - e. pengomposan
8. Untuk pengolahan logam dapat digunakan bakteri ....
  - a. *Thiobacillus ferrooxidans*
  - b. *Pseudomonas*
  - c. *Candida utilis*
  - d. *Cyanobacteria*
  - e. *Bacillus thuringiensis*

9. Yoghurt merupakan susu asam yang dihasilkan dari suatu proses fermentasi oleh bakteri ....
  - a. *Streptococcus thermophilus*
  - b. *Lactobacillus bulgaricus*
  - c. *Methylophullus methylotropus*
  - d. *Aspergillus niger*
  - e. *Aspergillus wentii*
10. Di pasar saat ini banyak dijual buah-buahan seperti anggur, semangka, tomat, jambu yang tidak berbiji. Keadaan tersebut sebenarnya merupakan hasil dari rekayasa manusia dengan cara ....
  - a. okulasi
  - b. cangkokan
  - c. kultur jaringan
  - d. radiasi
  - e. hibridasi

## II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini!

1. Sebutkan bukti-bukti adanya evolusi melalui seleksi alam dan variasi (menurut Darwin)!
2. Menurut Darwin, faktor-faktor apa saja yang menyebabkan timbulnya variasi pada makhluk hidup?
3. Mengapa pada penemuan fosil jarang ditemukan dalam keadaan lengkap?
4. Dalam suatu populasi terdapat 60% perasa PTC dan 40% bukan perasa PTC, maka berapakah frekuensi gen dalam populasi tersebut?
5. Apa yang dimaksud homologi dan analogi? Berikan contohnya!
6. Sel-sel hibridoma adalah hasil karya bioteknologi, apakah hasil dari sel-sel hibridoma?
7. Apakah yang dimaksud dengan bioteknologi itu? Berikan contohnya!

8. Sebutkan dampak bioteknologi terhadap lingkungan!
9. Sebutkan manfaat dari kultur jaringan!
10. Apa manfaat dari rekayasa genetika?

# KUNCI JAWABAN

## ULANGAN BLOK 1

- I.
  1. e
  3. c
  5. a
  7. b
  9. b
- II.
  1. Katabolisme adalah penguraian dan pembebasan energi dalam bentuk zat organik yang kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana. Contoh respirasi aerob dan respirasi anaerob, fermentasi glikolisis.
  3. Penyimpangan semu hukum mendel.
    - a. Polimeri, perbandingan fenotip 15 : 1.
    - b. Kriptomeri, perbandingan fenotip 9 : 3 : 4.
    - c. Epistasis, hipostasis, perbandingan fenotip 12 : 3 : 1.
  5. Butawarna adalah kelainan atau penyakit pada manusia di mana penderitanya tidak dapat membedakan warna merah dan hijau atau sama sekali tidak dapat membedakan warna. Jenis buta warna:
    - a. Buta warna sebagian (parsial), yaitu penderitanya tidak dapat mengenal warna tertentu misalnya warna merah dan hijau.
    - b. Buta warna total, yaitu penderitanya tidak dapat mengenal warna hanya mengenal warna hitam dan putih.
  7. Euploidi adalah mutasi yang melibatkan pengurangan atau penambahan perangkat kro-

mosom (genom).

Aneuploidi adalah mutasi kromosom yang tidak melibatkan perubahan pada seluruh genom tetapi terjadi hanya pada salah satu kromosom dari genom.

8. Fungsi gen adalah:
  1. menyampaikan informasi genetika dari generasi ke generasi;
  2. mengontrol dan mengatur metabolisme dan perkembangan tubuh
- Sifat gen adalah:
  1. sebagai zarah tersebdiri yang terdapat alam kromosom;
  2. mengandung informasi genetika
  3. dapat menduplikasi diri saat terjadi pembelahan sel;
  4. mempunyai tugas khusus sesuai fungsinya;
  5. kerjanya ditentukan oleh susunan kombinasi basa. nitrogennya

## ULANGAN BLOK 2

- I.
  1. d
  3. d
  5. a
  7. a
  9. b

- II.
1. Buktinya adalah adanya perubahan warna kupu-kupu *Biston bitularia* dari warna cerah menjadi hitam.
  3. Bukti fosil yang ditemukan tidak lengkap karena ada sebagian yang hancur.
  5. Homologi adalah dua organ yang mempunyai bentuk dan fungsi berbeda tetapi kedua organ tersebut memiliki bentuk dasar yang sama. Contoh: tangan manusia dengan sayap burung. Adapun analogi adalah dua organ yang mempunyai bentuk dasar yang berbeda tetapi akibat peristiwa evolusi konvergen menjadikan organ tersebut mempunyai fungsi yang sama. Contoh: sayap pada insekta dengan sayap Pterodactyl.
  7. Bioteknologi adalah penggunaan bahan-bahan biologi atau (mikroorganisme) dalam proses yang memerlukan keahlian teknik untuk memperoleh produk dan jasa. Contoh: tem-pe dan bir.
  9. Manfaat kultur jaringan:
    1. Bebas memilih bagian tumbuhan yang akan digunakan sebagai eksplan (bagian yang akan dikultur).
    2. Waktu yang diperlukan relatif singkat.
    3. Dapat dilakukan dalam ruang yang relatif kecil.
    4. Dari satu individu dapat dihasilkan banyak tumbuhan yang baru

# DAFTAR PUSTAKA

- B, Albert. 1994. *Biologi Molekul Sel Edisi Kedua*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Dwijoseputro. 1997. *Pengantar Genetika*. Jakarta: Bharata.
- Ensiklopedi Sains & Kehidupan*. 1997. Tarity Samudra Berlian.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [http://harun-yahya.cnrqlab.itb.ac.id/buku/keruntuhan\\_014.htm](http://harun-yahya.cnrqlab.itb.ac.id/buku/keruntuhan_014.htm)
- [http://harunyahya.com/indo/buku/menyanggah\\_04.htm](http://harunyahya.com/indo/buku/menyanggah_04.htm)
- [http://www.harunyahya.com/indo/buku/menyanggah\\_02.htm](http://www.harunyahya.com/indo/buku/menyanggah_02.htm)
- Ilmu Pengetahuan Jilid 5. 1986. *Grolier International* oleh Widyadar.
- Kimball, John W. 1989. *Biologi Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Kimball, John W. 1998. *Biologi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Kimball, John W. 1998. *Biologi Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- Nanin, M. *Potensi dan Keberhasilannya dalam Bidang Pertanian*. Jakarta. PT. Raya Grafindo Persada.
- Nugroho, L. Hartanto, Purnomo, Issirep Sumardi. 2005. *Struktur dan Perkembangan Tumbuhan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- P. Gandon, Franklin, R. Brent Pennc dan Roger L.M Schell. 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Jakarta: UI Press.
- Peter H, Reven et al. 1986. *Biology Plants*. New York: Water Pubhlishes Inc
- Sumo, Usman F. dkk. 1985. *Prinsip-Prinsip Bioteknologi*. Jakarta: Gramedia.
- Suryo. 1992. *Genetika*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Themawijaya, Meggy. 1990. *Bioteknologi, Suatu Revolusi Industri yang Baru*. Jakarta: Erlangga



# DAFTAR GAMBAR DAN TABEL

## Daftar Gambar

Gambar 1.1	Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan ..... 1	Gambar 2.12	Hubungan antara metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein ..... 59
Gambar 1.2	Contoh perbedaan ketinggian pada tumbuhan 4	Gambar 3.1	Anak dan ayahnya ..... 67
Gambar 1.3	Pengaruh cahaya terhadap tumbuhan ..... 7	Gambar 3.2	Bangunan yang diibaratkan kromosom, DNA, gen, dan nukleotida 70
Gambar 1.4	Pertumbuhan ujung akar dan ujung batang ..... 11	Gambar 3.3	Bagian-bagian penyusun kromosom ..... 70
Gambar 1.5	Pengaruh giberelin terhadap pertumbuhan tanaman .... 12	Gambar 3.4	Struktur Kromosom ..... 71
Gambar 1.6	Perkecambahan biji buncis 16	Gambar 3.5	Macam-macam kromosom menurut letak sentromernya ..... 72
Gambar 1.7	Bagian-bagian biji pada jagung dan kacang ..... 17	Gambar 3.6	Kromosom pada manusia 73
Gambar 1.8	Perkecambahan hipogeal .. 18	Gambar 3.7	Bentuk lokus ..... 75
Gambar 1.9	Perkecambahan epigeal .... 18	Gambar 3.8	Letak gen dan alel pada kromosom ..... 77
Gambar 1.10	Kecepatan pertumbuhan pada berbagai bagian akar 21	Gambar 3.9	Rumus bangun purin ..... 81
Gambar 1.11	Sayatan memanjang ujung akar ..... 22	Gambar 3.10	Rumus bangun pirimidin . 81
Gambar 1.12	Penampang ujung batang . 23	Gambar 3.11	Nukleotida ..... 82
Gambar 1.13	Daerah pertumbuhan sekunder ..... 24	Gambar 3.12	Struktur DNA ..... 82
Gambar 1.14	Lingkaran tahun ..... 25	Gambar 3.13	Struktur double helix ..... 82
Gambar 1.15	Lentisel potongan melintang batang sambucus ..... 26	Gambar 3.14	Diagram ikatan hidrogen . 83
Gambar 1.16	Menggunakan mistar untuk mengukur pertumbuhan ..... 26	Gambar 3.15	Beberapa kemungkinan replikasi DNA ..... 84
Gambar 1.17	Auksanometer ..... 27	Gambar 3.16	Struktur RNA ..... 85
Gambar 2.1	Orang berteduh di bawah pohon ..... 33	Gambar 3.17	Rumus kimia gula pentosa dan basa urasil dari RNA . 86
Gambar 2.2	Bagan transformasi energi dalam biologi ..... 37	Gambar 3.18	Rantai tunggal RNA duta . 86
Gambar 2.3	Hubungan enzim dan substrat ..... 40	Gambar 3.19	Sintesis protein ..... 89
Gambar 2.4	Struktur molekul ATP ..... 43	Gambar 4.1	Anak ayam baru menetas . 99
Gambar 2.5	Reaksi oksidasi reduksi (redoks) ..... 44	Gambar 4.2	Stadium mitosis ..... 104
Gambar 2.6	Struktur NAD ..... 44	Gambar 4.3	Tahap leptoten ..... 106
Gambar 2.7	Reaksi glikolisis ..... 45	Gambar 4.4	Tahap zigoten ..... 107
Gambar 2.8	Siklus Krebs ..... 47	Gambar 4.5	Tahap pakhiten ..... 107
Gambar 2.9	Bagan transformasi energi dalam biologi ..... 49	Gambar 4.6	Tahap diploten ..... 108
Gambar 2.10	Pembentukan ATP melalui fosforilasi siklik 55	Gambar 4.7	Tahap diakinesis ..... 108
Gambar 2.11	Siklus Calvin ..... 56	Gambar 4.8	Tahap pembelahan meiosis ..... 110
		Gambar 4.9	Proses spermatogenesis .. 113
		Gambar 4.10	Proses oogenesis ..... 114
		Gambar 4.11	Proses gametogenesis pada tumbuhan tingkat tinggi ..... 116
		Gambar 5.1	Ayah, ibu, dan anak ..... 123
		Gambar 5.2	Gregor Johann Mendel .... 125
		Gambar 5.3	Sifat beda kacang ercis dari percobaan Mendel ... 126

Gambar 5.4	Macam-macam pial ayam	139			
Gambar 5.5	Contoh kriptomeri pada bunga merah dan bunga putih .....	142	Gambar 6.22	Gambaran skematis dari dampak radiasi ionis .....	194
Gambar 5.6	Gen dan alel yang terletak pada sepasang kromosom	145	Gambar 7.1	Evolusi manusia .....	203
Gambar 5.7	Pindah silang .....	148	Gambar 7.2	Aristoteles .....	205
Gambar 5.8	<i>Drosophila melanogaster</i>	150	Gambar 7.3	Teori jerapah berleher panjang menurut Lamarck dan Erasmus Darwin .....	207
Gambar 5.9	Albino .....	156	Gambar 7.4	Macam perbedaan morfologi bentuk paruh dari burung Finch di Kepulauan Galapagos .....	208
Gambar 5.10	Peta silsilah pewarisan hemofili keturunan Ratu Victoria .....	157	Gambar 7.5	Kupu Biston bitularia warna putih dan hitam ...	210
Gambar 5.11	Polidaktili pada tangan (a), pada kaki (b), dan brakhdaktili (c) .....	160	Gambar 7.6	Evolusi konvergen dan divergen .....	212
Gambar 5.12	Peta silsilah polidaktili ...	160	Gambar 7.7	Patung manusia purba ....	226
Gambar 6.1	Buah semangka tanpa biji	167	Gambar 7.8	Homologi organ .....	227
Gambar 6.2	Contoh tumbuhan hasil poliploid .....	175	Gambar 7.9	Perbandingan antara analogi dan homologi .....	228
Gambar 6.3	Sel gagal berpisah .....	176	Gambar 7.10	Perbandingan berbagai macam embrio vertebrata	228
Gambar 6.4	Penderita sindrom turner dan kariotipenya .....	178	Gambar 7.11	Hasil penemuan fosil (A) Bakteri (B) Ikan .....	229
Gambar 6.5	Penderita sindrom klinifelter dan kariotipenya .....	179	Gambar 7.12	Evolusi Kuda .....	231
Gambar 6.6	Kariotipe sindrom down	180	Gambar 7.13	Percobaan Francisco Redi	235
Gambar 6.7	Bentuk kelainan pada sindrom down .....	180	Gambar 7.14	Model percobaan Spallanzani .....	235
Gambar 6.8	Grafik ejadian sindrom down pada kelahiran .....	181	Gambar 7.15	Labu percobaan Louis Pasteur .....	236
Gambar 6.9	Proses inversi .....	182	Gambar 7.16	Theodosius Dobzhansky	238
Gambar 6.10	Homolog-homolog yang menunjukkan pembentukan gelang pada waktu sinaps .....	182	Gambar 7.17	Michael Denton .....	239
Gambar 6.11	Proses translokasi .....	183	Gambar 8.1	Tempe dan kecap .....	249
Gambar 6.12	Kromosom pembawa translokasi dan gamet-gamet yang diproduksinya .....	183	Gambar 8.2	Skema proses bioteknologi .....	251
Gambar 6.13	Translokasi resiprok .....	184	Gambar 8.3	Proses pembuatan minuman anggur .....	262
Gambar 6.14	Translokasi Robertson .....	184	Gambar 8.4	Protein sel tunggal .....	262
Gambar 6.15	Proses duplikasi .....	185	Gambar 8.5	Pembuatan gas bio .....	265
Gambar 6.16	Mata <i>Drosophilla melanogaster</i> .....	185	Gambar 8.6	Pemisahan logam dari bijinya .....	266
Gambar 6.17	Delesi .....	186	Gambar 8.7	Pembuatan insulin pada manusia .....	269
Gambar 6.18	Formasi gelang pada saat sinaps .....	186	Gambar 8.8	Fusi secara elektrik .....	270
Gambar 6.19	Pembentukan dua isokromosom akrosentris	187	Gambar 8.9	Kloning seekor katak .....	272
Gambar 6.20	Katenasi .....	187	Gambar 8.10	Dolly domba hasil kloning .....	272
Gambar 6.21	A. Sel-sel darah merah normal B. Sel-sel darah merah sabit .....	190	Gambar 8.11	Inseminasi buatan pada sapi perah .....	273
			Gambar 8.12	Skema pembiakan dengan kultur jaringan .....	275

## Daftar Tabel

Tabel 1.1	Variabel terikat dalam pertumbuhan .....	6			
Tabel 1.2	Variabel bebas dalam pertumbuhan .....	6			
Tabel 1.3	Pengamatan Pertumbuhan .	7			
Tabel 2.1	Jenis-jenis enzim dan peranannya .....	42	Tabel 5.6	Hubungan antara fenotipe golongan darah sistem M N, genotipe , dan kemungkinan macam gamet .....	154
Tabel 3.1	Organisme diploid .....	74	Tabel 5.7	Sistem Rhesus .....	154
Tabel 3.2	Perbedaan DNA dan RNA	87	Tabel 6.1	Jumlah kromosom dalam genom pada beberapa tumbuhan .....	174
Tabel 3.3	Kode tiga basa (triplet) yang membentuk asam amino .....	92	Tabel 6.2	Perubahan pada kromosom .....	174
Tabel 4.1	Perbedaan mitosis dan meiosis .....	111	Tabel 7.1	Perbedaan antara (hominidae) b dan orang utan (pongidae) .....	224
Tabel 5.1	Simbol-simbol persilangan .....	126	Tabel 7.2	Jenis-jenis manusia modern .....	226
Tabel 5.2	Percobaan Mendel dari persilangan dengan satu sifat beda .....	127	Tabel 8.1	Makanan hasil fermentasi .....	261
Tabel 5.3	Hubungan antara jumlah sifat beda dengan banyaknya macam gamet F1 dan perbandingan F2 .	135	Tabel 8.2	Jenis mikroba penghasil PST .....	263
Tabel 5.4	Hubungan antar fenotipe golongan darah sistem A, B, O, genotipe dan kemungkinan macam gamet .....	153			
Tabel 5.5	Golongan darah orang tua dan kemungkinan atau tidak mungkin pada golongan darah pada anak-anaknya .....	153			

# GLOSARIUM

## A

Aberasi	:	mutasi yang terjadi karena perubahan struktur atau kerusakan bentuk kromosom
Abiogenesis	:	teori yang menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati.
Adaptasi	:	peristiwa modifikasi dari makhluk hidup untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya.
Albino	:	hewan atau manusia yang homogenital, tidak mempunyai pigmen kulit.
Alela	:	bentuk alternatif faktor keturunan dalam kromosom yang homolog.
Alela	:	bentuk alternatif faktor keturunan dalam kromosom yang homolog.
Amitosis	:	pembelahan sederhana tanpa melalui tahap-tahap pembelahan.
Anafase	:	tahap pembelahan sel dimana kromatid bergerak ke arah kutub yang berlawanan.
Analogi	:	organ yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk dasar dan asalnya berbeda.
Apoenzim	:	enzim yang tersusun atas protein saja dan bersifat non aktif.
Asam absisat	:	hormon yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman, yaitu dengan jalan mengurangi atau memperlambat kecepatan pembelahan dan pembesaran sel
Auksin	:	merupakan senyawa kimia asam asetat yang dihasilkan dari sekresi pada titik tumbuh terletak pada ujung tunas (terdiri atas batang dan daun), ujung akar, daun muda, bunga buah dan kambium
Autokatalitik	:	kemampuan replikasi DNA.
Autosom	:	kromosom yang mengandung gen-gen yang mengatur sifat tubuh.
Avertebrata	:	hewan yang tidak bertulang belakang

## B

Biogenesis	:	teori yang menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup juga.
------------	---	--

## D

Delesi	:	peristiwa pengurangan suatu kromosom akibat sebagian kromosom pindah pada kromosom lain karena adanya patahan
Dominan	:	sifat yang muncul pada keturunan.
Duplikasi	:	peristiwa penambahan dan penggandaan patahan kromosom dari kromosom lain yang sehomolog

## E

Embrio	:	bakal makhluk hidup baru yang tumbuh dan berkembang di dalam uterus/kandung lembaga.
--------	---	--

Epistaksis	:	keluarnya darah dari lubang hidung
Euploidi	:	mutasi yang melibatkan pengurangan atau penambahan perangkat kromosom

## F

Fase G1	:	fase pada interfase sebelum sel mengadakan replikasi DNA
Fase S	:	fase sintesis yaitu saat DNA bereplikasi
Felem	:	Felogen membentuk jaringan yang tumbuh ke arah luar
Feloderm	:	Felogen membentuk jaringan yang tumbuh ke arah dalam
Felogen	:	jaringan yang berada di sebelah dalam kulit membentuk jaringan
Fenotipe	:	bentuk luar sebagai akibat dari pengaruh genotipe dengan lingkungan.
Fermentasi	:	proses respirasi anerob yaitu tanpa menggunakan oksigen bebas
Filial	:	keturunan.
Fosil	:	sisa-sisa makhluk hidup yang biasanya terdapat dalam batuan bumi

## G

G2	:	fase pada interfase setelah replikasi DNA selesai
Gamet	:	beberapa sel yang bersatu dan membentuk sel yang baru.
Gametogenesis	:	proses pembentukan sel kelamin
Gas etilin	:	suatu gas yang dihasilkan oleh buah yang dapat mempengaruhi perubahan warna pada buah dari hijau, kuning sampai menjadi mati disebabkan pada sel-sel cadangan berbentuk batang yang tidak mengalami diferensiasi.
Gen	:	materi genetik yang berfungsi untuk membawa sifat yang diwariskan kepada keturunannya.
Genetika	:	ilmu yang mempelajari hereditas serta segala seluk beluk secara ilmiah.
Genom	:	perangkat kromosom
Giberelin	:	zat tumbuh yang membantu pembentukan tunas/embrio, menghambat perkecambahan dan pembentukan biji
Gonosom	:	kromosom seks yang dapat menentukan jenis kelamin.

## H

Habitat	:	tempat tinggal yang biasa atau yang wajar dari suatu individu atau sekumpulan makhluk hidup
Hereditas	:	penurunan sifat dari generasi satu ke generasi berikutnya
Heterogen	:	bermacam-macam benda yang berlainan jenis dan sifatnya.
Heterozigot	:	suatu pasangan alela yang dihasilkan oleh fertilisasi gamet yang mengandung gen-gen berlainan dari sifat tertentu.
Holoenzim	:	enzim yang tersusun atas protein dan non protein
Homolog	:	sejalan
Homozigot	:	perpaduan sel kelamin yang sama jenisnya.
Hormon	:	zat tumbuh yang komponennya terdiri atas senyawa protein dengan substansi kimia

## I

Interfase	:	fase istirahat dari proses pembelahan
-----------	---	---------------------------------------

Inversi	:	mutasi yang terjadi karena perubahan letak gen akibat terpilinnya kromosom pada saat meiosis sehingga terbentuk kiasma
Isokromosom	:	mutasi kromosom yang terjadi pada waktu menduplikasikan diri

## K

Kariokenesis	:	tahapan sel mengalami pembelahan inti
Kiasma	:	pertemuan antara kromosom yang mengalami pindah silang
Kloning	:	proses kultur jaringan pada sel hewan
Konvensional	:	tradisional artinya dilaksanakan dengan cara dan alat yang masih sangat sederhana.
Kotiledon	:	cadangan makanan di dalam keping biji
Kriptomeri	:	suatu peristiwa di mana suatu faktor dominan seakan-akan tersembunyi oleh faktor lainnya dan baru tampak bila tidak berada bersama faktor penutup.
Kromatid	:	kromosom yang mengganda menjadi dua

## L

Lentisel	:	sel kambium gabus di epidermis kulit yang membentuk suatu
Letal	:	suatu keadaan pasangan gen-gen gila dalam keadaan homozigot yang menyebabkan kematian.
Lingkaran tahun	:	kambium intervaskuler tersambung dengan kambium lubang/ celah menyerupai lensa

## M

Megasporogenesis	:	proses pembentukan ovum pada tumbuhan tinggi
Meiosis	:	pembelahan sel pada sel kelamin (pembelahan reduksi)
Metafase	:	tahap pembelahan sel di mana kromosom terletak pada bidang ekuator
Mikrosporogenesis	:	proses pembentukan sperma pada tumbuhan tinggi
Mitosis	:	pembelahan sel pada sel tubuh (pembelahan biasa)
Mutagen	:	faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya mutasi
Mutasi	:	perubahan dalam gen yang mengakibatkan perubahan dalam ekskresi
Mutasi germinal	:	mutasi yang terjadi pada sel-sel gamet

## N

Nukleotida	:	satu satuan monomer yang terdiri dari satu gula, satu basa nitrogen dan satu fosfat.
------------	---	--

## O

Oogenesis	:	proses pembentukan ovum pada manusia
Organisme	:	makhluk hidup

## P

Poliploid	:	organisme yang memiliki banyak genom dalam sel somatiknya
Populasi	:	sejumlah individu-individu sejenis yang hidup di suatu daerah.
Profase	:	tahap pembelahan sel awal

## R

Replikasi	:	proses pembentukan rantai DNA baru oleh mutasi DNA lama
Resesif	:	sifat yang tidak muncul pada keturunan.

## S

Sel Hibridoma	:	sel sebagai hasil dari penggabungan sel limfosit dengan sel kanker.
Sentromer	:	daerah penyempitan kromosom.
Sitokinesis	:	pembelahan sitoplasma pada pembelahan sel
Sitokinin	:	zat tumbuh sebagai perangsang terjadinya pembelahan sel.
Species	:	sekumpulan tumbuhan atau hewan yang mempunyai persamaan sifat-sifat dan dapat kawin serta melaksanakan keturunan yang normal.
Spermatogenesis	:	proses pembentukan sperma pada manusia

## T

Telofase	:	tahap pembelahan sel dimana kromosom berada pada kutub pembelahan
Telosentrik	:	kromosom yang memiliki lengan hanya satu dan terbentuk seperti batang dengan letak sentromernya di ujung.
Totipotensi	:	kemampuan sel atau jaringan untuk menumbuhkan seluruh bagian tubuh secara lengkap
Transgenik	:	hasil dari rekayasa genetika (pemindahan gen)
Transisi	:	mutasi yang terjadi bila terdapat pergantian basa purin dari satu mutasi DNA dengan purin lainnya atau basa pirimidin dengan pirimidin lainnya
Transkripsi	:	pencetakan RNA duta oleh DNA.
Translokasi	:	peristiwa perpindahan potongan kromosom menuju kromosom lain yang nonhomolog
Tranversi	:	mutasi gen bila terdapat pergantian basa purin dengan basa pirimidin atau basa pirimidin dengan basa purin
Trisomi	:	mutasi karena kelebihan satu kromosom

## V

Vertebrata	:	hewan yang bertulang belakang
------------	---	-------------------------------

# INDEKS SUBJEK DAN PENGARANG

## A

A.S Weiner 154  
Abiogenesis 205, 234, 235, 236, 243, 244, 247, 248  
Adenin 44  
Adenin 42, 44, 47, 79, 81, 82, 85, 88, 91, 197, 201  
Aeroponik 255, 281  
Akrosentrik 72  
Akrosom 113  
Aksin 75, 252, 253, 254, 256, 264, 270, 284, 285, 286  
Albino 78, 156, 157, 162, 165, 196, 216, 247  
Alfred Russel Wallace 209  
Alel 77, 78, 97, 123, 124, 126, 129, 141, 143, 145, 146, 147, 156, 157, 158, 202, 212, 215, 216, 218, 219  
Alexander Fleming 263  
Alfred Russel Wallace 209  
Anabolisme 33, 34, 36, 52, 58, 63  
Anafase 100, 103, 104, 109, 110, 111, 119, 121, 175, 176  
Aneuploidi 150, 176  
Antibiotik 193, 195, 196, 200, 257, 263, 264, 265, 284, 285  
Antibodi 95, 154, 155, 162, 253, 270, 271, 283, 286  
Antigen 152, 153, 154, 155, 162, 286  
Antipod 115, 116  
Antosianin 142, 143  
Aristoteles 205, 234, 247  
Asam absisat 10, 13, 26  
Aseptik 275  
ATP 33, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 55, 56, 57, 59, 63, 64, 66, 88, 274  
Autokatalis 83  
Autosom 68, 73, 96, 97, 113, 114, 159, 189

## B

Berstein 152  
Biogas 283, 290

Biogenesis 205, 234, 235, 236, 243, 244, 247  
Bioteknologi 191, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 268, 274, 279, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 290, 291, 292  
Boveri 75  
Buffon 94, 205, 206  
Bunga 2, 3, 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 23, 35, 41, 58, 62, 70, 82, 88, 93, 97, 103, 107, 108, 110, 111, 115, 118, 121, 122, 125, 126, 127, 131, 134, 135, 138, 141, 142, 143, 152, 154, 161, 166, 191, 208, 214, 222, 223, 226, 233, 236, 237, 241, 242, 243, 245, 253, 255, 268, 269

## C

Charles Lyell 205, 206  
Charles Robert Darwin 206, 207, 209

## D

Diferensiasi 1, 12, 22, 23, 28  
Dihibrid 123, 124, 132, 134, 135, 138, 140, 141, 145, 162, 163, 201  
Dikotil 17, 19, 22, 24, 25, 29, 30, 31  
Diploid 73, 74, 99, 101, 113, 114, 115, 118, 120, 121, 138, 150, 167, 174, 189, 198  
Diploten 108

## E

Embrio 12, 15, 17, 19, 20, 28, 29, 30, 99, 101, 116, 188, 205, 222, 228, 241, 256, 271, 273, 289  
Embrionik 15, 17, 20, 28, 30  
Empedoclas 206  
Enzim 14, 33, 34, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 71, 75, 84, 87, 88, 89, 98, 113, 156, 201, 256, 257, 259, 260, 269, 271  
Epidermis 22, 23, 25, 26, 30  
Epigeal 17, 18, 19, 28, 29  
Epikotil 17, 19, 29  
Epistasis 143, 144, 162  
Erasmus Darwin 205, 206, 207, 209, 247



- eritrosit 79, 155  
 Ernst Mayr 238  
 Evolusi 195, 200, 203, 205, 206, 209, 210, 211, 212, 214, 223, 224, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 236, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 289, 291
- F**  
 F. Kurusawa 12  
 Felogen 25, 26, 30  
 F. Miescher 79  
 Fenotip 77, 78, 93, 123, 126, 128, 131, 132, 134, 135, 136, 138, 139, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 152, 154, 162, 165, 169, 170, 173, 185, 197, 201, 202, 212, 282  
 Fertilisasi 2, 115, 118, 150, 183, 273, 289  
 Fischer 79  
 Fosil 203, 205, 224, 225, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 239, 241, 243, 244, 246, 247, 248, 289, 291  
 Fotosintesis 7, 8, 9, 20, 34, 63, 64, 66, 201
- G**  
 Gamet 69, 73, 99, 106, 109, 100, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 122, 128, 129, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 140, 141, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 156, 158, 159, 160, 163, 164, 169, 170, 176, 183, 189  
 Gametogenesis 99, 100, 112, 115, 117, 118, 122  
 Gen 9, 10, 22, 23, 25, 26, 28, 30, 33, 35, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 131, 132, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 181, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 201, 202, 205, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 218, 220, 223, 225, 226, 228, 234, 235, 236, 238, 239, 240, 241, 243, 244, 245, 246, 247, 249, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 259, 261, 263, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 279, 282, 283, 284, 285, 286, 290, 291, 292  
 Genetik 62, 67, 68, 69, 70, 74, 75, 79, 83, 84, 85, 86, 90, 91, 93, 97, 99, 101, 102, 107, 108, 109, 111, 113, 117, 120, 125, 157, 160, 161, 162, 165, 166, 168, 169, 170, 174, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191, 192, 194, 195, 196, 197, 199, 202, 205, 210, 212, 216, 238, 239, 240, 243, 252, 254, 255, 268, 269, 283, 284, 285, 286, 290, 292  
 Genotip 77, 78, 93, 123, 126, 128, 131, 132, 134, 135, 136, 137, 142, 143, 144, 146, 147, 152, 153, 154, 156, 159, 162, 163, 164, 165, 169, 197, 212, 217, 218, 219, 268  
 George Gaylord Simpson 238  
 Giberelin 10, 12, 13, 26, 105  
 Glukosa 34, 35, 37, 38, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 59, 64, 65, 66, 262  
 Gonosom 68, 73, 177
- H**  
 Haploid 15, 28, 73, 99, 106, 109, 110, 113, 114, 115, 118, 120, 121, 148, 150, 167  
 Hardy Weinberg 216, 246  
 Harun Yahya 205, 240, 241  
 Herman Yosep Muller 170  
 Hemofili 157, 158, 162, 165  
 Hereditas 10, 75, 94, 95, 123, 124, 125, 138, 151, 152, 169, 198, 202  
 Heterozigot 123, 126, 134, 135, 136, 137, 141, 146, 156, 158, 159, 164, 167, 170, 183, 189, 216  
 Hibrid 123, 124, 126, 127, 132, 134, 135, 138, 140, 141, 145, 162, 163, 174, 201, 222, 243, 274, 284, 291  
 Hipokotil 1, 17, 18, 29  
 Hipostasis 143, 144, 162  
 Homozigot 123, 126, 134, 135, 136, 137,

145, 155, 156, 157, 159, 163, 165, 167,  
183, 190, 216

## I

Inseminasi 222, 255, 272, 273, 274, 284,  
287

Interfase 100, 101, 102, 103, 104, 107,  
119, 120, 121, 202

Intersel 10, 26

intervaskuler 25

Intrasel 10, 26

Intravaskuler 25

## J

Jean Baptise Lamarck 206, 207, 239, 247

Julian Huxley 238

## K

Kalaza 115

Katabolisme 33, 34, 36, 44, 45, 52, 58, 59,  
63, 64, 202

Klinefelter 168, 178, 197

Koleoptil 1, 11, 17, 29

Koleoriza 17, 29

Korpus 24, 28

korteks 22, 23, 25, 30

Korteks 23

korteks 287

Kotiledon 1, 7, 15, 17, 18, 19, 20, 28, 29,  
30

Kromonema 71, 72, 94, 106

Kromonemata 106

Kromosom 10, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73,  
74, 75, 77, 79, 94, 96, 97, 98, 99, 101,  
102, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 111,  
113, 114, 117, 118, 119, 120, 125, 126,  
138, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151,  
157, 158, 164, 168, 169, 170, 173, 174,  
175, 176, 177, 178, 179, 181, 182, 183,  
184, 185, 186, 187, 188, 189, 192, 194,  
196, 197, 198, 199, 201, 202, 211, 222,  
242, 268, 281, 282

Kualitatif 4, 5, 26

Kuantitatif 4

## L

Landsteiner 153, 154

Ledyard 238

Leonardo da Vinci 230

Levine 79

## M

M. Nirenberg 91

Marsh 230

Megasporogenesis 100, 115, 121

Meiosis 15, 28, 99, 100, 106, 107, 109,  
110, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118,  
119, 120, 121, 122, 129, 138, 144, 146,  
147, 148, 150, 151, 175, 176, 181, 183,  
199

Meristem 1, 14, 15, 20, 22, 23, 24, 28, 29,  
274, 287

Meristematik 1, 22, 23, 28

Metabolisme 33, 36, 38, 39, 44, 58, 59, 60,  
61, 63, 64, 65, 66, 75, 88, 169, 170,  
229, 240, 254, 263

Metafase 99, 100, 101, 102, 104, 108, 109,  
119, 120, 121, 167, 202

Mikrosporogenesis 115

Mikrotubule 102

Miller 237, 244

Mitokondria 38, 38, 45, 46, 47, 48, 65, 79

Mitosi 15, 71, 99, 101, 102, 103, 104, 105,  
107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115,  
116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 202

Mutasi 77, 93, 161, 167, 168, 169, 170,  
171, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 185,  
186, 188, 189, 191, 192, 195, 196, 197,  
198, 199, 200, 207, 212, 213, 216, 238,  
239, 246, 248, 254, 255, 281, 282

## O

Oksidasi 38, 39, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 56,  
57, 58, 267

Oogenesis 114, 115, 119, 202

Oosit 114, 115, 121

Oparin 237

Organik 10, 35, 39, 40, 57, 65, 66, 201,  
237, 256, 266, 267, 279, 280, 281, 284

## P

Pakhiten 107

Parental 146, 148, 149

Polimeri 141

Polipeptida 97  
Poliploid 161, 167, 174, 175, 221, 222  
Primata 203, 205, 211, 223  
Primer 15, 20, 24, 28, 29, 30, 31, 113, 114, 115, 121  
Profase 100, 102, 106, 109, 119, 120, 121, 122, 176  
Purin 42, 79, 81, 82, 85, 87, 94, 171, 197

## R

Radikula 15, 17  
Raymond Dart 224  
Reduksi 33, 38, 39, 43, 44, 48, 57, 59, 65, 106, 109, 111, 118, 229, 231, 266  
Rekombinasi 255, 268, 269, 270, 284, 287  
Respirasi 8, 35, 36, 37, 38, 45, 46, 49, 51, 58  
Riker 275

## S

Sangkat Marzuki 242  
Schleiden 274  
Schwann 274  
Sekunder 1, 2, 15, 18, 24, 25, 28, 30, 31, 76, 102, 113, 114, 115, 121, 278  
Sentromer 71, 72, 103, 108, 109, 110, 182, 184, 187  
Sewall Wright 238  
Silinder pusat 22, 23  
Simpson 238  
Sinapsis 107, 182, 184, 187  
Sinergid 115, 116  
Sintesis 7, 9, 10, 33, 35, 36, 38, 52, 53, 54, 55, 58, 66, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 107, 109, 156, 170, 201, 229, 238, 254  
Sir Ronald A. Fisher 238  
Sitokinesis 103, 115, 121  
Sitokinin 12  
Sitosin 79, 81, 82, 85, 91  
Spermatogenesis 112, 113, 119, 202

Stebbins 238  
Stomata 13  
Submetasentrik 72

## T

Tautan 123, 124, 145, 149, 162, 202  
Telofase 100, 103, 109, 110, 119, 121, 202  
Telosentrik 72  
Thomas Robert Malthus 208  
Timin 79, 81, 91, 94, 197, 201  
Transkripsi 85, 88, 90, 94, 95, 98, 202  
Translasi 202  
Tumbuhan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 49, 53, 62, 64, 100, 101, 102, 105, 113, 114, 115, 117, 121, 142, 151, 155, 169, 173, 174, 184, 187, 193, 195, 200, 221, 223, 243, 251, 254, 255, 256, 258, 263, 271, 274, 275, 277, 279, 281, 283, 284, 289  
Tunika 24, 28

## U

Urey 236, 237, 247

## W

W.E Gericke 279  
Watson-Crick 82  
Weismann 205, 210

## X

xilem 11, 12, 25, 27, 30  
Xilem 23

## Z

Zigot 15, 28, 99, 118, 126, 134, 135, 136, 137, 141, 145, 155, 156, 157, 158, 159, 163, 164, 170, 183, 184, 188, 190, 216, 245, 271

# BIOLOGI

Makhluk Hidup dan Lingkungannya

SMA/MA

**K**ehadiran buku pelajaran (*textbook*) saat ini dianggap penting dalam proses pembelajaran di sekolah. Buku pelajaran merupakan salah satu komponen dalam pembelajaran. Buku pelajaran yang baik akan menjadi komponen yang sangat menentukan kualitas pembelajaran serta hasil pembelajaran yang dicapai.

Buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi semacam itu. Buku pelajaran biologi ini disusun dengan mempertimbangkan aspek-aspek pembelajaran biologi untuk SMA/MA sehingga diharapkan menjadi komponen penting yang dapat membantu siswa mencapai tujuan pembelajaran biologi, seperti menyadari keindahan alam dan mengagungkan kebesaran Tuhan Yang Maha Esa, mempunyai sikap ilmiah (jujur, objektif, terbuka, ulet, dan kritis), mampu menerapkan konsep biologi untuk menghasilkan karya teknologi sederhana yang dibutuhkan manusia, serta berperan aktif dalam menjaga kelestarian lingkungan alam.

Buku ini diharapkan bisa berperan dalam proses pembelajaran biologi karena memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut.

1. Penyajian diawali dengan tujuan pembelajaran yang jelas, diikuti dengan contoh kontekstual yang dikemas dengan bahasa komunikatif serta gaya dialogis dan interaktif sehingga akan memotivasi siswa untuk belajar.
2. Materi, selain disajikan lengkap sesuai dengan muatan kurikulum pendidikan yang berlaku, juga disampaikan secara tidak kering dan kaya nuansa, dengan memberikan informasi populer seputar masalah biologi. Materi juga disajikan dengan memperhatikan kelengkapan antara aspek kognitif, afektif, dan psikomotorik sehingga dapat memberikan kompetensi yang lebih komplet dan menyeluruh kepada siswa.
3. Diberikan kegiatan dan tugas (baik individu maupun kelompok) yang berorientasi praktik dan aplikasi sehingga akan memberikan pengalaman belajar yang bermakna kepada siswa dalam usaha menguasai kompetensi.
4. Pada buku ini disertakan pula soal-soal latihan dan uji kompetensi sehingga baik guru maupun siswa dapat melakukan pengukuran terhadap penguasaan materi dan kompetensi dari hasil pembelajaran tiap bab. ■

**ISBN 978-979-068-129-3 (no jld lengkap)**  
**ISBN 978-979-068-134-7**

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tanggal 25 Juli 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.

**Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp16.141,-**